

PATENT APPLICATION

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re the Application of:

YASUI et al

Group Art Unit: Not yet assigned

Application No.: New Application

Examiner: Not yet assigned

Filed: December 4, 2003

Attorney Dkt. No.: 59278.00010

For: CONTROL SYSTEM AND METHOD, AND CONTROL UNIT

CLAIM FOR PRIORITY UNDER 35 USC § 119

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

December 4, 2003

Sir:

The benefit of the filing dates of the following prior foreign application(s) filed in the following foreign country(ies) is hereby requested for the above-identified patent application and the priority provided in 35 U.S.C. §119 is hereby claimed:

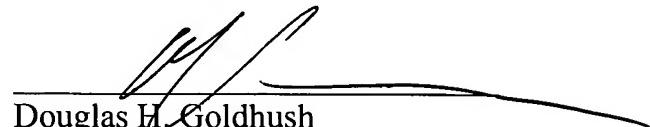
Japanese Patent Application No. 2002-354360 filed on December 5, 2002 in Japan

In support of this claim, certified copy(ies) of said original foreign application(s) is filed herewith.

It is requested that the file of this application be marked to indicate that the requirements of 35 U.S.C. §119 have been fulfilled and that the Patent and Trademark Office kindly acknowledge receipt of this document(s).

Please charge any fee deficiency or credit any overpayment with respect to this paper to Counsel's Deposit Account No. 50-2222.

Respectfully submitted,


Douglas H. Goldhush
Registration No. 33,125

Customer No. 32294
SQUIRE, SANDERS & DEMPSEY LLP
14TH Floor
8000 Towers Crescent Drive
Tysons Corner, Virginia 22182-2700
Telephone: 703-720-7800
Fax: 703-720-7802

DHG:scc

Enclosure: Priority Document(s) (1)

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 2002年12月 5日
Date of Application:

出願番号 特願2002-354360
Application Number:

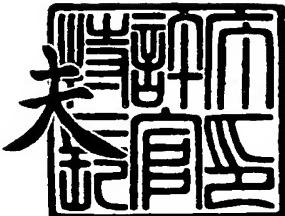
[ST. 10/C] : [JP2002-354360]

出願人 本田技研工業株式会社
Applicant(s):

2003年 9月 24日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井康



【書類名】 特許願

【整理番号】 H102274901

【提出日】 平成14年12月 5日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 F02D 41/14

F02D 41/04

F02D 45/00

G05B 13/00

【発明者】

【住所又は居所】 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内

【氏名】 安井 裕司

【発明者】

【住所又は居所】 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内

【氏名】 滝沢 治

【発明者】

【住所又は居所】 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内

【氏名】 水野 隆英

【特許出願人】

【識別番号】 000005326

【氏名又は名称】 本田技研工業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100095566

【弁理士】

【氏名又は名称】 高橋 友雄

【手数料の表示】**【予納台帳番号】** 059455**【納付金額】** 21,000円**【提出物件の目録】****【物件名】** 明細書 1**【物件名】** 図面 1**【物件名】** 要約書 1**【プルーフの要否】** 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 制御装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 プラントを制御する制御装置であって、

前記プラントの第1内部変数の挙動を反映する検出値を検出する検出手段と、

前記第1内部変数の挙動を模擬化した模擬値を生成する模擬値生成手段と、

前記検出値の推定値を、当該推定値と前記模擬値との関係を定義したモデルに

基づいて推定する推定手段と、

前記推定された推定値が前記検出された検出値に一致するように、前記検出された検出値および前記生成された模擬値に応じて、前記モデルのモデルパラメータを同定する同定手段と、

当該同定されたモデルパラメータに応じて、前記プラントに入力する第1入力を決定する第1制御手段と、

を備えることを特徴とする制御装置。

【請求項 2】 前記検出値を所定の目標値に収束させるように、前記プラントに入力する第2入力を決定する第2制御手段をさらに備え、

前記第1内部変数は、複数の第1内部変数で構成され、

前記模擬値は、前記複数の第1内部変数の挙動をそれぞれ模擬化した複数の模擬値で構成され、

前記モデルパラメータは、複数のモデルパラメータで構成され、

前記同定手段は、前記推定値が前記検出値に一致するように、前記検出値および前記複数の模擬値に応じて、前記複数のモデルパラメータを同定し、

前記第1制御手段は、前記同定された複数のモデルパラメータがそれらの平均値に収束するように、前記第1入力を決定することを特徴とする請求項1に記載の制御装置。

【請求項 3】 前記第1制御手段は、

逐次型統計アルゴリズムを用いることにより、前記第1入力の学習補正值を算出する学習補正值算出手段と、

当該算出された学習補正值により前記第1入力を補正する補正手段と、

当該補正された第1入力を前記プラントに入力する入力手段と、
を備えることを特徴とする請求項1または2に記載の制御装置。

【請求項4】 前記学習補正值算出手段は、

前記第1入力の前記学習補正值を、当該学習補正值を従属変数としつつ前記第1内部変数に影響を及ぼす第2内部変数を独立変数とする回帰式により算出するとともに、当該回帰式の回帰係数および定数項を前記逐次型統計アルゴリズムにより算出することを特徴とする請求項3に記載の制御装置。

【請求項5】 前記第1制御手段は、前記第1入力に含まれる入力成分を、前記モデルパラメータと所定の目標値との偏差に基づいて決定することを特徴とする請求項1ないし4のいずれかに記載の制御装置。

【請求項6】 前記第1制御手段は、前記第1入力に含まれる前記入力成分以外の他の入力成分を、前記モデルパラメータに基づいて決定することを特徴とする請求項5に記載の制御装置。

【請求項7】 前記第1制御手段は、応答指定型制御アルゴリズムにより、前記モデルパラメータに応じて前記第1入力を決定することを特徴とする請求項1ないし5のいずれかに記載の制御装置。

【請求項8】 前記同定手段は、前記モデルパラメータを固定ゲイン法により同定することを特徴とする請求項1ないし7のいずれかに記載の制御装置。

【請求項9】 前記同定手段は、モデルパラメータ基準値を前記第2内部変数に応じて算出し、当該算出したモデルパラメータ基準値に所定の補正成分を加算することにより、前記モデルパラメータを同定することを特徴とする請求項4に記載の制御装置。

【請求項10】 前記検出値および前記模擬値の一方を、所定の遅延時間分、遅延する遅延手段をさらに備え、

前記同定手段は、前記検出値および前記模擬値の前記遅延された一方と、前記検出値および前記模擬値の他方とに応じて、前記モデルパラメータを同定することを特徴とする請求項1ないし9のいずれかに記載の制御装置。

【請求項11】 前記検出値に所定のフィルタリング処理を施すことにより、前記検出値のフィルタ値を生成するフィルタ手段をさらに備え、

前記同定手段は、前記検出値のフィルタ値および前記模擬値に応じて、前記モデルパラメータを同定することを特徴とする請求項1ないし10のいずれかに記載の制御装置。

【請求項12】 複数の気筒からそれぞれ延びる複数の排気通路が互いに1つの排気通路に集合する内燃機関において、前記複数の気筒に供給される燃料量を気筒毎に制御することにより、前記複数の気筒から排出される排気ガスの空燃比を制御する制御装置であって、

前記複数の気筒の各々に供給される燃料量を決定する燃料量決定手段と、

前記1つの排気通路内の排気ガスの空燃比を表す空燃比パラメータを検出する空燃比パラメータ検出手段と、

前記複数の気筒から排出された排気ガスの空燃比の挙動をそれぞれ模擬化した複数の模擬値を生成する模擬値生成手段と、

前記空燃比パラメータの推定値を、当該推定値と前記複数の模擬値との関係を定義したモデルに基づいて推定する推定手段と、

前記空燃比パラメータの推定値が前記検出された空燃比パラメータに一致するように、前記検出された空燃比パラメータおよび前記生成された複数の模擬値に応じて、前記モデルの複数のモデルパラメータを同定する同定手段と、

当該同定された複数のモデルパラメータに応じて、前記複数の気筒に供給される燃料量を補正するための第1補正值を気筒毎に算出する第1補正值算出手段と

当該算出された第1補正值に応じて、前記決定された燃料量を気筒毎に補正する第1燃料量補正手段と、

を備えることを特徴とする制御装置。

【請求項13】 前記空燃比パラメータを所定の目標値に収束させるように、前記各気筒に供給される燃料量を補正するための第2補正值を算出する第2補正值算出手段と、

当該算出された第2補正值に応じて、前記各気筒に供給される燃料量を補正する第2燃料量補正手段と、

をさらに備え、

前記第1補正值算出手段は、前記同定された複数のモデルパラメータがそれらの平均値に収束するように、前記第1補正值を気筒毎に算出することを特徴とする請求項12に記載の制御装置。

【請求項14】 逐次型統計アルゴリズムを用いることにより、前記第1補正值の学習補正值を気筒毎に算出する学習補正值算出手段をさらに備え、

前記第1燃料量補正手段は、当該算出された学習補正值にさらに応じて、前記燃料量を気筒毎に補正することを特徴とする請求項12または13に記載の制御装置。

【請求項15】 前記内燃機関の運転状態を表す運転状態パラメータを検出する運転状態パラメータ検出手段をさらに備え、

前記学習補正值算出手段は、前記学習補正值を、当該学習補正值を従属変数としつつ前記検出された運転状態パラメータを独立変数とする回帰式により算出するとともに、当該回帰式の回帰係数および定数項を前記逐次型統計アルゴリズムにより算出することを特徴とする請求項14に記載の制御装置。

【請求項16】 前記第1補正值算出手段は、前記第1補正值に含まれる補正值成分を、前記同定されたモデルパラメータと所定の目標値との偏差に基づいて算出することを特徴とする請求項12ないし15のいずれかに記載の制御装置。

【請求項17】 前記第1補正值算出手段は、前記第1補正值に含まれる前記補正值成分以外の他の補正值成分を、前記同定されたモデルパラメータに基づいて算出することを特徴とする請求項16に記載の制御装置。

【請求項18】 前記第1補正值算出手段は、応答指定型制御アルゴリズムにより、前記モデルパラメータに応じて前記第1補正值を算出することを特徴とする請求項12ないし16のいずれかに記載の制御装置。

【請求項19】 前記同定手段は、固定ゲイン法により前記モデルパラメータを同定することを特徴とする請求項12ないし18のいずれかに記載の制御装置。

【請求項20】 前記同定手段は、モデルパラメータ基準値を前記運転状態パラメータに応じて算出し、当該算出したモデルパラメータ基準値に所定の補正

成分を加算することにより、前記モデルパラメータを同定することを特徴とする請求項 15 に記載の制御装置。

【請求項 21】 前記空燃比パラメータを、所定の遅延時間分、遅延する遅延手段をさらに備え、

前記同定手段は、前記遅延された空燃比パラメータおよび前記複数の模擬値に応じて、前記モデルパラメータを同定することを特徴とする請求項 12 ないし 20 のいずれかに記載の制御装置。

【請求項 22】 1つの吸気通路から分岐した複数の吸気通路が複数の気筒にそれぞれ延びる内燃機関において、前記複数の気筒に供給される燃料量を気筒毎に制御することにより、前記複数の気筒から排出される排気ガスの空燃比を制御する制御装置であって、

前記複数の気筒の各々に供給される燃料量を決定する燃料量決定手段と、

前記 1つの吸気通路に設けられ、吸入空気量を表す吸入空気量パラメータを検出する吸入空気量パラメータ検出手段と、

前記複数の気筒に吸入される吸入空気量の挙動をそれぞれ模擬化した複数の模擬値を生成する模擬値生成手段と、

前記吸入空気量パラメータの推定値を、当該推定値と前記複数の模擬値との関係を定義したモデルに基づいて推定する推定手段と、

前記吸入空気量パラメータの推定値が前記検出された吸入空気量パラメータに一致するように、前記検出された吸入空気量パラメータおよび前記生成された複数の模擬値に応じて、前記モデルの複数のモデルパラメータを同定する同定手段と、

当該同定された複数のモデルパラメータに応じて、前記複数の気筒に供給される燃料量を補正するための第 3 補正值を気筒毎に算出する第 3 補正值算出手段と、

当該算出された第 3 補正值に応じて、前記決定された燃料量を気筒毎に補正する第 3 燃料量補正手段と、

を備えることを特徴とする制御装置。

【請求項 23】 前記複数の気筒からそれぞれ延びる複数の排気通路が互い

に1つの排気通路に集合しており、

当該1つの排気通路内の排気ガスの空燃比を表す空燃比パラメータを検出する空燃比パラメータ検出手段と、

当該検出された空燃比パラメータを所定の目標値に収束させるように、前記各気筒に供給される燃料量を補正するための第4補正值を算出する第4補正值算出手段と、

当該算出された第4補正值に応じて、前記各気筒に供給される燃料量を補正する第4燃料量補正手段と、

をさらに備え、

前記第3補正值算出手段は、前記同定された複数のモデルパラメータがそれらの平均値に収束するように、前記第3補正值を気筒毎に算出することを特徴とする請求項22に記載の制御装置。

【請求項24】 逐次型統計アルゴリズムを用いることにより、前記第3補正值の学習補正值を気筒毎に算出する学習補正值算出手段をさらに備え、

前記第3燃料量補正手段は、当該算出された学習補正值にさらに応じて、前記燃料量を気筒毎に補正することを特徴とする請求項22または23に記載の制御装置。

【請求項25】 前記内燃機関の運転状態を表す運転状態パラメータを検出する運転状態パラメータ検出手段をさらに備え、

前記学習補正值算出手段は、前記学習補正值を、当該学習補正值を従属変数としつつ前記検出された運転状態パラメータを独立変数とする回帰式により算出するとともに、当該回帰式の回帰係数および定数項を前記逐次型統計アルゴリズムにより算出することを特徴とする請求項24に記載の制御装置。

【請求項26】 前記第3補正值算出手段は、前記第3補正值に含まれる補正值成分を、前記同定されたモデルパラメータと所定の目標値との偏差に基づいて算出することを特徴とする請求項22ないし25のいずれかに記載の制御装置。

【請求項27】 前記第3補正值算出手段は、前記第3補正值に含まれる前記補正值成分以外の他の補正值成分を、前記同定されたモデルパラメータに基づ

いて算出することを特徴とする請求項26に記載の制御装置。

【請求項28】 前記第3補正值算出手段は、応答指定型制御アルゴリズムにより、前記モデルパラメータに応じて前記第3補正值を算出することを特徴とする請求項22ないし26のいずれかに記載の制御装置。

【請求項29】 前記同定手段は、固定ゲイン法により前記モデルパラメータを同定することを特徴とする請求項22ないし28のいずれかに記載の制御装置。

【請求項30】 前記同定手段は、モデルパラメータ基準値を前記運転状態パラメータに応じて算出し、当該算出したモデルパラメータ基準値に所定の補正成分を加算することにより、前記モデルパラメータを同定することを特徴とする請求項25に記載の制御装置。

【請求項31】 前記複数の模擬値を、所定の遅延時間分、遅延する遅延手段をさらに備え、

前記同定手段は、前記吸入空気量パラメータおよび前記遅延された複数の模擬値に応じて、前記モデルパラメータを同定することを特徴とする請求項22ないし30のいずれかに記載の制御装置。

【請求項32】 前記吸入空気量パラメータに所定のフィルタリング処理を施すことにより、吸入空気量パラメータのフィルタ値を生成するフィルタ手段をさらに備え、

前記同定手段は、前記生成された吸入空気量パラメータのフィルタ値および前記複数の模擬値に応じて、前記モデルパラメータを同定することを特徴とする請求項22ないし31のいずれかに記載の制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、プラントの内部変数の挙動を模擬化した模擬値と、内部変数の挙動を反映する検出値との関係を定義したモデルを用いることにより、プラントを制御する制御装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

近年、プラントとしての車両用の内燃機関においては、社会的な要請に起因して、良好な排気ガス特性すなわち良好な触媒浄化率を確保することが要求されている。一方、複数の気筒を有する内燃機関では、EGR装置、蒸発燃料処理装置およびインジェクタなどの不具合に起因して、複数の気筒に供給される混合気の空燃比が気筒間でばらつくことがあり、その場合には、触媒浄化率の低下を招くおそれがある。これを防止するためのプラントの制御装置として、最適制御理論によるオブザーバを適用することにより、複数の気筒間の空燃比のばらつきを補正する内燃機関の空燃比制御装置が知られている（例えば、特許文献1参照）。この空燃比制御装置は、内燃機関の排気管の集合部に設けられ、排気ガス中の空燃比を検出するLAFセンサと、このLAFセンサの検出信号（検出空燃比）が入力される制御ユニットと、内燃機関の吸気管のインタークマニホールドに気筒毎に設けられ、制御ユニットに接続されたインジェクタなどを備えている。

【0003】

この制御ユニットでは、LAFセンサの検出空燃比に基づき、各インジェクタの燃料噴射量である気筒毎燃料噴射量を、以下のようにオブザーバおよびPID制御を用いて算出することにより、複数の気筒から排出される排気ガスの空燃比、すなわち複数の気筒に供給される混合気の空燃比における気筒間のばらつきが補正される。

【0004】

すなわち、制御ユニットは、内燃機関の運転状態に応じて、基本噴射量を算出し、これに各種の補正係数を乗算することにより、出力噴射量を算出する。次いで、後述するように、オブザーバにより気筒毎の推定空燃比を推定し、PID制御により、気筒毎の推定空燃比に基づいて気筒毎フィードバック補正係数をそれぞれ算出し、これらの気筒毎フィードバック補正係数を出力噴射量に乗算することにより、気筒毎燃料噴射量がそれぞれ算出される。

【0005】

また、上記オブザーバでは、気筒毎の推定空燃比が最適制御理論に基づいて推定される。具体的には、気筒毎の燃空比および集合部（LAFセンサの取り付け

部) の燃空比の関係を表す離散時間系のモデルを用いることにより、気筒毎の推定空燃比が算出される。さらに、前記 P I D 制御では、集合部空燃比すなわち検出空燃比をフィードバック補正係数の前回値の平均値で除算した値を目標値とし、この目標値とオブザーバにより推定された気筒毎の推定空燃比との偏差が値 0 に収束するように、気筒毎のフィードバック補正係数が算出される。

【0006】

さらに、他の空燃比制御装置として、複数の気筒における吸入空気量を気筒毎に推定した推定吸入空気量と、上記と同様のオブザーバにより気筒毎に推定した推定空燃比とに基づいて、燃料噴射量を気筒毎に算出するものが知られている（例えば、特許文献 2 参照）。

【0007】

具体的には、この空燃比制御装置では、エンジン回転数および吸気管内圧に応じてマップを検索することにより、目標吸入燃料量が算出される。また、内燃機関の吸気系に流体力学モデルを適用することにより、推定吸入空気量が気筒毎に算出され、前述したオブザーバにより推定空燃比が気筒毎に算出される。さらに、推定吸入空気量を推定空燃比で除算することにより、推定吸入燃料量が気筒毎に算出され、適応制御器により、推定吸入燃料量が目標吸入燃料量に一致するよう、最終的な燃料噴射量が算出される。

【0008】

【特許文献 1】

特許第 3296472 号公報（第 19 ~ 23 頁、図 35, 36）

【特許文献 2】

特開平 6-74076 号公報（第 3 ~ 12 頁、図 1, 31）

【0009】

【発明が解決しようとする課題】

近年、内燃機関では、前述した良好な触媒浄化率の確保要求とは別に、高出力・高トルク化が要求されており、これを達成するために、排気系レイアウトを複雑な形状（例えばエキゾーストマニホールドの排気通路が $4 \rightarrow 2 \rightarrow 1$ とその数を漸減しながら集合するような形状）とすることで、排気抵抗や排気干渉を減らす

手法が知られている。しかし、そのような排気系レイアウトを有する内燃機関に、前者の空燃比制御装置を適用した場合、従来の最適制御理論では、オブザーバが成立しなくなるため、気筒間の空燃比のばらつきを適切に補正することができず、触媒浄化率の低下を招くおそれがある。これは、従来の最適制御理論では、想定モデルおよび最適制御理論自体において、モデル化誤差およびモデルの動特性変化が考慮されていないため、オブザーバの安定余裕が小さく、ロバスト性が低いので、燃料付着などに起因する LAF センサの検出空燃比における各気筒の排気ガスの寄与度の変化、LAF センサの応答ばらつきおよび LAF センサの経年変化に対して安定性が不十分であることによる。

【0010】

また、後者の空燃比制御装置においても、前者と同様のオブザーバを用いているため、前述した理由によりオブザーバが成立しなくなることがあり、その場合には、燃料噴射量を気筒毎に適切に算出できなくなることで、触媒浄化率の低下を招くおそれがある。さらに、多気筒式内燃機関では、吸入空気量も気筒間でばらつきを生じるのが一般的であるのに対して、後者の空燃比制御装置では、この吸入空気量のばらつきの補正が考慮されておらず、流体力学モデルを適用することにより、吸入空気量を気筒毎に推定しているに過ぎない。そのため、気筒間の吸入空気量のばらつきを適切に補正することができず、気筒間の空燃比のばらつきを招くことで、触媒浄化率がさらに低下するおそれがある。

【0011】

本発明は、上記課題を解決するためになされたもので、安定余裕が大きく、ロバスト性の高い制御を実現できる制御装置を提供することを目的とする。また、複数の気筒を有する内燃機関の空燃比を制御する場合には、内燃機関が複雑な排気系レイアウトを有するときでも、気筒間の空燃比または吸入空気量のばらつきを適切かつ迅速に補正することができ、それにより、空燃比を精度良く制御できる制御装置を提供することを目的とする。

【0012】

【課題を解決するための手段】

この目的を達成するために、請求項 1 に係る発明は、プラント（例えば実施形

態における（以下、この項において同じ）内燃機関3）を制御する制御装置1であって、プラントの第1内部変数の挙動を反映する検出値（検出空燃比KACT、吸入空気量GAI R、吸気管内絶対圧PBA）を検出する検出手段（LAFセンサ14、エアフローセンサ9、吸気管内絶対圧センサ11）と、第1内部変数の挙動を模擬化した模擬値KACT_O S、GAI R_O Sを生成する模擬値生成手段（ECU2、適応オブザーバ31，61）と、検出値の推定値KACT_EST、GAI R_ESTを、推定値と模擬値との関係を定義したモデル〔式（2），（59）〕を用いることにより推定する推定手段（ECU2、適応オブザーバ31，61）と、推定された推定値が検出された検出値に一致するように、検出された検出値および生成された模擬値に応じて、モデルのモデルパラメータ（空燃比ばらつき係数Φ、吸気量ばらつき係数Ψ）を同定する同定手段（ECU2、適応オブザーバ31，61）と、同定されたモデルパラメータに応じて、プラントに入力する第1入力（空燃比ばらつき補正係数KOB SV、吸気量ばらつき補正係数KIC YL）を決定する第1制御手段（ECU2、空燃比ばらつき補正係数算出部32、吸気量ばらつき補正係数算出部62）と、を備えることを特徴とする。

【0013】

この制御装置によれば、プラントの第1内部変数の挙動を反映する検出値が検出され、この検出値の推定値が、第1内部変数の挙動を模擬化した模擬値との関係を定義したモデルを用いることにより推定され、この推定値が検出値に一致するように、検出値および模擬値に応じて、モデルパラメータが同定されるとともに、同定されたモデルパラメータに応じて、第1入力が決定される。このように、推定値が検出値に一致するように、モデルパラメータが同定されるので、このモデルパラメータを、第1内部変数の実際の挙動が適切に反映された値として同定することができ、特に、同定手段としてオンボード同定器を用いた場合には、モデルパラメータを、第1内部変数の実際の挙動がリアルタイムに反映された値として同定できる。さらに、そのように同定されたモデルパラメータに応じて、第1入力が決定されるので、実際の第1内部変数が急激に変動するような場合でも、そのような第1内部変数の挙動が迅速かつ適切に反映された値として、第1

入力を決定でき、そのような第1入力を用いることにより、第1内部変数を所定の状態または所定の値に迅速かつ適切に制御することができる。その結果、例えば、第1入力により、検出手段の検出値が所定の目標値に収束するようにプラントを制御した場合、検出手段のS/N比や感度が低いときでも、第1内部変数の挙動を反映することで、その影響を受ける検出値を、所定の目標値に安定した状態で迅速に整定することができる。すなわち、従来よりも安定余裕が大きく、ロバスト性の高い制御を実現することができる。

【0014】

請求項2に係る発明は、請求項1に記載の制御装置1において、検出値（検出空燃比KACT、吸入空気量GAI R）を所定の目標値（目標空燃比KCMD）に収束させるように、プラントに入力する第2入力（フィードバック補正係数KSTR）を決定する第2制御手段（ECU2、第2空燃比コントローラ40）をさらに備え、第1内部変数は、複数の第1内部変数で構成され、模擬値は、複数の第1内部変数の挙動をそれぞれ模擬化した複数の模擬値KACT_OSi, GAI R_OSiで構成され、モデルパラメータは、複数のモデルパラメータ（空燃比ばらつき係数Φi、吸気量ばらつき係数Ψi）で構成され、同定手段は、推定値KACT_EST, GAI R_ESTが検出値（検出空燃比KACT、吸入空気量GAI R）に一致するように、検出値および複数の模擬値に応じて、複数のモデルパラメータを同定し、第1制御手段は、同定された複数のモデルパラメータがそれらの平均値（移動平均値Φave, Ψave）に収束するように、第1入力を決定することを特徴とする。

【0015】

この制御装置によれば、第2制御手段により、プラントに入力する第2入力が、検出値を所定の目標値に収束せるように決定される。また、同定手段により、複数のモデルパラメータが、検出値および複数の模擬値に応じて、推定値が検出値に一致するように同定され、第1制御手段により、第1入力が、同定された複数のモデルパラメータがそれらの平均値に収束するように決定される。このように、第1入力が、複数のモデルパラメータの同定値がそれらの平均値に収束するように決定されるので、検出手段の検出値を所定の目標値に収束させるための

制御処理と、第1内部変数を制御するための制御処理とが互いに干渉し合うのを回避することができると同時に、複数の第1内部変数間の挙動のばらつきを補正することができる。

【0016】

請求項3に係る発明は、請求項1または2に記載の制御装置1において、第1制御手段は、逐次型統計アルゴリズム [式(15)～(21), (60)～(66)] を用いることにより、第1入力の学習補正值KOB SV_LS, KICY_L_LSを算出する学習補正值算出手段(ECU2、学習補正值算出部33, 63)と、算出された学習補正值により第1入力を補正する補正手段(ECU2、乗算部34, 64)と、補正された第1入力をプラントに入力する入力手段(ECU2)と、を備えることを特徴とする。

【0017】

同定演算アルゴリズムとしては、最小2乗法が一般的であるけれども、この最小2乗法による同定演算では、演算用の各種のデータを所定数、収集した後、それらのデータに基づいて一括演算が行われるため、制御の開始時には、データの収集が終了するまでの間、モデルパラメータの同定が実行されないので、その間、モデルパラメータの同定値に応じて第1入力を算出できず、制御性の低下を招くおそれがある。これに対して、この制御装置によれば、第1入力の学習補正值が、逐次型統計アルゴリズムにより算出されるので、制御の開始時でも、制御サイクル毎に算出された学習補正值により、第1入力を補正することができる。したがって、例えば、第1入力の初期値を予め設定しておくことにより、制御の開始時、モデルパラメータが新たに同定されるまでの間でも、制御サイクル毎に算出された学習補正值により、第1入力を常に補正することができ、それにより、制御開始時の制御性を向上させることができる。

【0018】

請求項4に係る発明は、請求項3に記載の制御装置1において、学習補正值算出手段は、第1入力の学習補正值を、学習補正值を従属変数としつつ第1内部変数に影響を及ぼす第2内部変数(排気ガスボリュームESV)を独立変数とする回帰式[式(22), (78)]により算出するとともに、回帰式の回帰係数A

OBSV_LS, AICYL_LS および定数項 BOBSV_LS, BICYL_LS を逐次型統計アルゴリズム [式 (15) ~ (21), (71) ~ (77)] により算出することを特徴とする。

【0019】

この制御装置によれば、第1入力の学習補正值が、これを従属変数としつつ第1内部変数に影響を及ぼす第2内部変数を独立変数とする回帰式により算出されるとともに、回帰式の回帰係数および定数項が逐次型統計アルゴリズムにより算出されるので、第2内部変数の変化速度が非常に速いことで、その影響により第1内部変数の変化速度も速く、その推定が困難な場合でも、学習補正值を、第1内部変数の実際の状態が適切に反映された値として算出することができる。これにより、第1入力による第1内部変数の制御性をさらに向上させることができる。

【0020】

請求項5に係る発明は、請求項1ないし4のいずれかに記載の制御装置1において、第1制御手段は、第1入力に含まれる入力成分を、モデルパラメータ（空燃比ばらつき係数Φ、吸気量ばらつき係数Ψ）と所定の目標値（移動平均値Φave, Ψave）との偏差e, e'に基づいて決定することを特徴とする。

【0021】

この制御装置によれば、第1制御手段により、第1入力に含まれる入力成分が、モデルパラメータと所定の目標値との偏差に基づいて決定されるので、モデルパラメータが所定の目標値に収束するように、プラントを制御することができ、それにより、プラントの第1内部変数を、定常偏差を生じることなく所定の値に収束するように制御することができる。

【0022】

請求項6に係る発明は、請求項5に記載の制御装置1において、第1制御手段は、第1入力に含まれる入力成分以外の他の入力成分を、モデルパラメータ（空燃比ばらつき係数Φ、吸気量ばらつき係数Ψ）に基づいて決定することを特徴とする。

【0023】

この制御装置によれば、第1入力が、モデルパラメータと所定の目標値との偏差に基づいて決定される入力成分に加えて、モデルパラメータに基づいて決定される他の入力成分をさらに含んでいるので、例えば、モデルパラメータが所定の目標値に収束するようにプラントを制御した場合、プラントの第1内部変数を、オーバーシュートや振動的挙動を生じることなく、所定の値に収束するように制御することができる。その結果、検出値を、振動状態やオーバーシュート状態になるのを回避しながら安定した状態に制御することができる。

【0024】

請求項7に係る発明は、請求項1ないし4のいずれかに記載の制御装置1において、第1制御手段は、応答指定型制御アルゴリズム [式(47)～(49), (89)～(91)]により、モデルパラメータ（空燃比ばらつき係数Φ、吸気量ばらつき係数Ψ）に応じて第1入力を決定することを特徴とする。

【0025】

この制御装置によれば、応答指定型制御アルゴリズムにより、第1入力がモデルパラメータに応じて決定されるので、例えば、モデルパラメータが所定の目標値に収束するように、プラントを制御することができ、それにより、プラントの第1内部変数を、オーバーシュートや振動的挙動を生じることなく、所定の値に収束するように制御することができる。その結果、第1入力によりプラントを制御した場合、検出値を、振動状態やオーバーシュート状態になるのを回避しながら安定した状態に制御することができる。

【0026】

請求項8に係る発明は、請求項1ないし7のいずれかに記載の制御装置1において、同定手段は、モデルパラメータ（空燃比ばらつき係数Φ、吸気量ばらつき係数Ψ）を固定ゲイン法 [式(50)～(57), (92)～(99)]により同定することを特徴とする。

【0027】

この制御装置によれば、モデルパラメータが固定ゲイン法により同定されるので、同定手段の演算負荷を低減することができる。それにより、第1入力の演算時間を短縮することができるので、第1内部変数の変化速度が速いときでも、第

1 内部変数の挙動が適切に反映された値として、第1入力を迅速かつ適切に算出することができる。また、固定ゲイン法として、モデルパラメータを、その基準値に所定の補正成分を加算することによって同定する手法を用いた場合には、この基準値の付近にモデルパラメータの同定値を拘束できるので、第1内部変数の変化速度の増大などに起因して、第1内部変数の状態がモデルパラメータの同定値に不適切に反映されるのを回避でき、制御の安定性を向上させることができる。

【0028】

請求項9に係る発明は、請求項4に記載の制御装置1において、同定手段は、モデルパラメータ基準値（基準値ベクトル ϕ_{base} , ψ_{base} ）を第2内部変数（排気ガスボリュームESV）に応じて算出し、算出したモデルパラメータ基準値に所定の補正成分（補正項ベクトル $d\phi$, $d\psi$ ）を加算することにより、モデルパラメータ（空燃比ばらつき係数 Φ 、吸気量ばらつき係数 Ψ ）を同定することを特徴とする。

【0029】

この制御装置によれば、第2内部変数に応じて算出したモデルパラメータ基準値に所定の補正成分を加算することにより、モデルパラメータが同定されるので、このモデルパラメータ基準値の付近にモデルパラメータの同定値を拘束できることにより、第2内部変数の変動の影響により第1内部変数の変化速度が速いときでも、第1内部変数の挙動が適切に反映された値として、第1入力を迅速かつ適切に算出することができ、制御の安定性を向上させることができる。

【0030】

請求項10に係る発明は、請求項1ないし9のいずれかに記載の制御装置1において、検出値（検出空燃比KACT、吸入空気量GAIR）および模擬値（模擬値KACT_OS, GAIR_OS）の一方を、所定の遅延時間（むだ時間d, d'）分、遅延する遅延手段（ECU2、適応オブザーバ31, 61）をさらに備え、同定手段は、検出値および模擬値の遅延された一方と、検出値および模擬値の他方とに応じて、モデルパラメータ（空燃比ばらつき係数 Φ ）を同定することを特徴とする。

【0031】

この制御装置によれば、モデルパラメータが、所定の遅延時間分、遅延された検出値および模擬値の一方と、検出値および模擬値の他方とに応じて同定されるので、例えば、検出値または模擬値にむだ時間が生じる場合、そのむだ時間を加味しながら、モデルパラメータを精度良く同定することができ、制御の安定性をさらに向上させることができる。

【0032】

請求項11に係る発明は、請求項1ないし9のいずれかに記載の制御装置1において、検出値（吸入空気量GAI R）に所定のフィルタリング処理を施すことにより、検出値のフィルタ値（フィルタ値GAI R_F）を生成するフィルタ手段（フィルタ61j）をさらに備え、同定手段は、検出値のフィルタ値および模擬値に応じて、モデルパラメータ（吸気量ばらつき係数Ψ）を同定することを特徴とする。

【0033】

一般に、この種の制御装置では、検出値の絶対値の変動幅が大きい場合、同定手段による同定処理がその変動に追従できないことなどに起因して、モデルパラメータの同定遅れが生じ、その同定精度が低下するおそれがある。これに対して、この制御装置によれば、同定手段により、所定のフィルタリング処理を施された検出値のフィルタ値および模擬値に応じて、モデルパラメータが同定されるので、このフィルタリング処理のフィルタ特性を適切に設定することにより、検出値の絶対値の変動幅が大きい場合でも、モデルパラメータの同定に必要な情報、すなわち内部変数の挙動を示す情報を確保しながら、検出値の変動幅が抑制された値として、検出値のフィルタ値を生成できる。したがって、そのようなフィルタ値および模擬値に応じて、モデルパラメータを同定することにより、モデルパラメータの同定遅れを抑制でき、その同定精度を高めることができ、制御の安定性と速応性をより一層、向上させることができる。

【0034】

請求項12に係る発明は、複数の気筒（1～4番気筒#1～4）からそれぞれ延びる複数の排気通路（排気管部7c～7f）が互いに1つの排気通路（集合部

7 j) に集合する内燃機関 3において、複数の気筒に供給される燃料量（最終燃料噴射量 T_{OUT_i} ）を気筒毎に制御することにより、複数の気筒から排出される排気ガスの空燃比を制御する制御装置 1 であって、複数の気筒の各々に供給される燃料量（基本燃料噴射量 T_{IBS} ）を決定する燃料量決定手段（ECU 2、基本燃料噴射量算出部 20）と、1つの排気通路内の排気ガスの空燃比を表す空燃比パラメータ（検出空燃比 $KACT$ ）を検出する空燃比パラメータ検出手段（LAF センサ 14）と、複数の気筒から排出された排気ガスの空燃比の挙動をそれぞれ模擬化した複数の模擬値 $KACT_OS_i$ を生成する模擬値生成手段（ECU 2、適応オブザーバ 31）と、空燃比パラメータの推定値 $KACT_EST$ を、推定値と複数の模擬値との関係を定義したモデル [式 (2)] から推定する推定手段（ECU 2、適応オブザーバ 31）と、空燃比パラメータの推定値が検出された空燃比パラメータに一致するように、検出された空燃比パラメータおよび生成された複数の模擬値に応じて、モデルの複数のモデルパラメータ（空燃比ばらつき係数 Φ_i ）を同定する同定手段（ECU 2、適応オブザーバ 31、ステップ 8）と、同定された複数のモデルパラメータに応じて、複数の気筒に供給される燃料量を補正するための第 1 補正值（空燃比ばらつき補正係数 $KOBSV_i$ ）を気筒毎に算出する第 1 補正值算出手段（ECU 2、空燃比ばらつき補正係数算出部 32、ステップ 9）と、算出された第 1 補正值に応じて、決定された燃料量を気筒毎に補正する第 1 燃料量補正手段（ECU 2、第 1 空燃比コントローラ 30、ステップ 11）と、を備えることを特徴とする。

【0035】

この制御装置によれば、燃料量決定手段により、内燃機関の各気筒に供給される燃料量が決定され、空燃比パラメータ検出手段により、1つの排気通路内の排気ガスの空燃比パラメータが検出され、推定手段により、空燃比パラメータの推定値が、これと、複数の気筒からの排気ガス中の空燃比の挙動を模擬化した複数の模擬値との関係を定義したモデルを用いることにより推定され、同定手段により、空燃比パラメータの推定値が検出された空燃比パラメータに一致するようになり、モデルの複数のモデルパラメータが同定され、第 1 補正值算出手段により、同定された複数のモデルパラメータに応じて、複数の気筒に供給される燃料量を補

正するための第1補正值が気筒毎に算出され、第1燃料量補正手段により、算出された第1補正值に応じて、燃料量が気筒毎に補正される。このように、空燃比パラメータの推定値が検出された空燃比パラメータに一致するように、複数のモデルパラメータが同定されるので、複数のモデルパラメータを、複数の気筒から排出された排気ガス中の空燃比の実際の挙動、すなわち気筒間の空燃比のばらつきが反映された値として、同定することができる。したがって、そのような複数のモデルパラメータの同定値に応じて算出した第1補正值に応じて、燃料量を気筒毎に補正することにより、気筒間の空燃比のばらつきを適切に補正することができる。また、例えば、同定手段としてオンボード同定器を用いることにより、第1補正值を、リアルタイムで同定されたモデルパラメータに基づいて算出することができる。それにより、各気筒での燃料付着による空燃比パラメータへの各気筒の寄与度の変化、空燃比パラメータ検出手段における応答ばらつき、および空燃比パラメータ検出手段の経年変化などによって、制御対象の動特性が変化したときでも、従来と異なり、制御対象の動特性の変化をモデルに反映させながら、複数の気筒間の空燃比のばらつきを補正（吸収）するように燃料量を補正することができる。その結果、この制御装置を、複雑な排気レイアウトを有する内燃機関に適用した場合でも、気筒間の空燃比のばらつきを適切かつ迅速に補正することができ、空燃比を精度良く制御できる。すなわち、安定余裕が大きく、ロバスト性の高い空燃比制御を実現することができる。それにより、触媒が排気通路に設けられている場合には、良好な触媒浄化率を確保することができる。

【0036】

請求項13に係る発明は、請求項12に記載の制御装置1において、空燃比パラメータ（検出空燃比KACT）を所定の目標値（目標空燃比KCMD）に収束させるように、各気筒に供給される燃料量を補正するための第2補正值（フィードバック補正係数KSTR）を算出する第2補正值算出手段（ECU2、第2空燃比コントローラ40、ステップ7）と、算出された第2補正值に応じて、各気筒に供給される燃料量を補正する第2燃料量補正手段（ECU2、第2空燃比コントローラ40）と、をさらに備え、第1補正值算出手段は、同定された複数のモデルパラメータ（空燃比ばらつき係数 Φ_i ）がそれらの平均値（移動平均値 Φ

a v e) に収束するように、第1補正值を気筒毎に算出する（ステップ9）ことを特徴とする。

【0037】

この制御装置によれば、第2補正值算出手段により、空燃比パラメータを所定の目標値に収束させるように、各気筒に供給される燃料量を補正するための第2補正值が算出され、第2燃料量補正手段により、この第2補正值に応じて、各気筒に供給される燃料量が補正されるとともに、第1補正值算出手段により、同定された複数のモデルパラメータがそれらの平均値に収束するように、第1補正值が気筒毎に算出される。このように、第1補正值が、複数のモデルパラメータの同定値がそれらの平均値に収束するように算出されるので、複数の気筒間の空燃比のばらつきを補正することができ、それにより、空燃比パラメータを所定の目標値に収束させるための制御処理と、気筒間の空燃比のばらつきを補正するための制御処理とが互いに干渉し合うのを回避することができ、空燃比制御の安定性を確保できる。

【0038】

請求項14に係る発明は、請求項12または13に記載の制御装置1において、逐次型統計アルゴリズム [式(15)～(21)] を用いることにより、第1補正值の学習補正值 $K_{OBSV_LS_i}$ を気筒毎に算出する学習補正值算出手段 (ECU2、学習補正值算出部33、ステップ10) をさらに備え、第1燃料量補正手段は、算出された学習補正值にさらに応じて、燃料量を気筒毎に補正する（ステップ11）ことを特徴とする。

【0039】

前述したように、同定演算アルゴリズムとしては、最小2乗法が一般的であるけれども、この最小2乗法による同定演算では、演算用の各種のデータを所定数、収集した後、それらのデータに基づいて一括演算が行われるため、空燃比制御の開始時には、データの収集が終了するまでの間、モデルパラメータの同定が実行されないので、その間、モデルパラメータの同定値に応じて第1補正值を算出できないことで、空燃比制御の制御性が低下するおそれがある。これに対して、この制御装置によれば、第1補正值の学習補正值が、逐次型統計アルゴリズムに

より算出されるので、空燃比制御の開始時でも、制御サイクル毎に算出された学習補正值により、第1補正值を補正することができる。したがって、例えば、第1補正值の初期値を予め設定したり、または前回運転時に算出した学習補正值を今回運転時の学習補正值の初期値として用いたりすることによって、空燃比制御の開始時、モデルパラメータの同定が開始されるまでの間でも、制御サイクル毎に算出された学習補正值により、第1補正值を常に補正することができ、空燃比制御の開始時における制御性を向上させることができる。それにより、触媒が排気通路に設けられている場合には、空燃比制御の開始時における触媒浄化率を向上させることができる。

【0040】

請求項15に係る発明は、請求項14に記載の制御装置1において、内燃機関3の運転状態を表す運転状態パラメータ（排気ガスボリュームE'SV）を検出する運転状態パラメータ検出手段（ECU2、吸気管内絶対圧センサ11、クランク角センサ13）をさらに備え、学習補正值算出手段は、学習補正值K OBSV_LSiを、学習補正值を従属変数としあつ検出された運転状態パラメータを独立変数とする回帰式〔式（22）〕により算出するとともに、回帰式の回帰係数AOBSV_LSiおよび定数項BOBSV_LSiを逐次型統計アルゴリズム〔式（15）～（21）〕により算出することを特徴とする。

【0041】

この制御装置によれば、第1補正值の学習補正值が、これを従属変数としあつ検出された運転状態パラメータを独立変数とする回帰式により算出されるとともに、回帰式の回帰係数および定数項が逐次型統計アルゴリズムにより算出されるので、内燃機関が過渡運転状態などの急激に変化する運転状態にあることで、その影響により、空燃比が急変し、その推定が困難な場合でも、学習補正值を、各気筒の空燃比の実際の状態が適切に反映された値として算出することができる。その結果、空燃比制御の制御性をさらに向上させることができる。

【0042】

請求項16に係る発明は、請求項12ないし15のいずれかに記載の制御装置1において、第1補正值算出手段は、第1補正值（空燃比ばらつき補正係数KO

B S V_i) に含まれる補正值成分を、同定されたモデルパラメータ（空燃比ばらつき係数Φ_i）と所定の目標値（移動平均値Φ_{a v e}）との偏差eに基づいて算出することを特徴とする。

【0043】

この制御装置によれば、第1補正值算出手段により、第1補正值に含まれる補正值成分が、モデルパラメータと所定の目標値との偏差に基づいて算出されるので、モデルパラメータが所定の目標値に収束するように、燃料量を気筒毎に補正することができ、それにより、空燃比を、定常偏差を生じることなく所定の値に収束するように、気筒毎に制御することができる。

【0044】

請求項17に係る発明は、請求項16に記載の制御装置1において、第1補正值算出手段は、第1補正值（空燃比ばらつき補正係数K O B S V_i）に含まれる補正值成分以外の他の補正值成分を、同定されたモデルパラメータ（空燃比ばらつき係数Φ）に基づいて算出することを特徴とする。

【0045】

この制御装置によれば、第1補正值が、モデルパラメータと所定の目標値との偏差に基づいて決定される補正值成分に加えて、モデルパラメータに基づいて決定される他の補正值成分をさらに含んでいるので、モデルパラメータが所定の目標値に収束するように、燃料量を気筒毎に補正した場合、空燃比を、オーバーシュートや振動的挙動を生じることなく安定した状態で所定の値に収束するよう、気筒毎に制御することができる。

【0046】

請求項18に係る発明は、請求項12ないし16のいずれかに記載の制御装置1において、第1補正值算出手段は、応答指定型制御アルゴリズム〔式（47）～（49）〕により、モデルパラメータ（空燃比ばらつき係数Φ）に応じて第1補正值（空燃比ばらつき補正係数K O B S V_i）を算出することを特徴とする。

【0047】

この制御装置によれば、応答指定型制御アルゴリズムにより、第1補正值がモデルパラメータに応じて決定されるので、例えば、モデルパラメータが所定の目

標値に収束するように、燃料量を気筒毎に補正することができ、それにより、空燃比を、オーバーシュートや振動的挙動を生じることなく安定した状態で所定の値に収束するように、気筒毎に制御することができる。

【0048】

請求項19に係る発明は、請求項12ないし18のいずれかに記載の制御装置1において、同定手段は、固定ゲイン法 [式(50)～(57)]によりモデルパラメータ（空燃比ばらつき係数 ϕ ）を同定することを特徴とする。

【0049】

この制御装置によれば、モデルパラメータが固定ゲイン法により同定されるので、同定手段の演算負荷を低減することができる。それにより、第1補正值の演算時間を短縮することができるので、過渡運転状態などの各気筒の空燃比の変化速度が速いときでも、空燃比の挙動が適切に反映された値として、第1補正值を迅速かつ適切に気筒毎に算出することができる。また、固定ゲイン法として、モデルパラメータを、その基準値に所定の補正成分を加算することによって同定する手法を用いた場合には、この基準値の付近にモデルパラメータの同定値を拘束できるので、空燃比の変化速度の増大などに起因して、空燃比の実際の状態がモデルパラメータの同定値に不適切に反映されるのを回避でき、空燃比制御の安定性をさらに向上させることができる。

【0050】

請求項20に係る発明は、請求項15に記載の制御装置1において、同定手段は、モデルパラメータ基準値（基準値ベクトル ϕ_{base} ）を運転状態パラメータ（排気ガスボリュームESV）に応じて算出し、算出したモデルパラメータ基準値に所定の補正成分（補正項ベクトル $d\phi$ ）を加算することにより、モデルパラメータ（空燃比ばらつき係数 ϕ ）を同定することを特徴とする。

【0051】

この制御装置によれば、運転状態パラメータに応じて算出したモデルパラメータ基準値に所定の補正成分を加算することにより、モデルパラメータが同定されるので、このモデルパラメータ基準値の付近にモデルパラメータの同定値を拘束できることにより、内燃機関の運転状態の変動の影響により空燃比の変化速度が

速いときでも、空燃比の挙動が適切に反映された値として、第1補正值を迅速かつ適切に気筒毎に算出することができ、制御の安定性をさらに向上させることができる。

【0052】

請求項21に係る発明は、請求項12ないし20のいずれかに記載の制御装置1において、空燃比パラメータ（検出空燃比KACT）を、所定の遅延時間（むだ時時間d）分、遅延する遅延手段（ECU2、適応オブザーバ31）をさらに備え、同定手段は、遅延された空燃比パラメータおよび複数の模擬値に応じて、モデルパラメータ（空燃比ばらつき係数Φ）を同定することを特徴とする。

【0053】

一般に、内燃機関では、各気筒に供給された混合気が、燃焼した後、排気ガスとして排気通路の集合部またはその下流側まで到達するまでの間には、所定のむだ時間が存在する。これに対して、この制御装置によれば、モデルパラメータが、所定の遅延時間分、遅延された空燃比パラメータ、および複数の模擬値に応じて同定されるので、上記むだ時間を反映させながら、モデルパラメータを精度良く同定することができ、制御の安定性をより一層、向上させることができる。

【0054】

請求項22に係る発明は、1つの吸気通路（主管部4a、集合部4c）から分岐した複数の吸気通路（分岐部4d）が複数の気筒（1～4番気筒#1～4）にそれぞれ延びる内燃機関3において、複数の気筒に供給される燃料量（最終燃料噴射量TOUT_i）を気筒毎に制御することにより、複数の気筒から排出される排気ガスの空燃比を制御する制御装置であって、複数の気筒の各々に供給される燃料量（基本燃料噴射量TIBS）を決定する燃料量決定手段（ECU2、基本燃料噴射量算出部20）と、1つの吸気通路に設けられ、吸入空気量を表す吸入空気量パラメータ（吸入空気量GAI R、吸気管内絶対圧PBA）を検出する吸入空気量パラメータ検出手段（エアフローセンサ9、吸気管内絶対圧センサ11）と、複数の気筒に吸入される吸入空気量の挙動をそれぞれ模擬化した複数の模擬値GAI R_O Sを生成する模擬値生成手段（ECU2、適応オブザーバ61）と、吸入空気量パラメータの推定値GAI R_E S Tを、推定値と複数の模擬

値との関係を定義したモデル [式(59)] を用いることにより推定する推定手段 (E C U 2、適応オブザーバ61) と、吸入空気量パラメータの推定値 G A I R_E S T が検出された吸入空気量パラメータ (吸入空気量 G A I R) に一致するように、検出された吸入空気量パラメータおよび生成された複数の模擬値に応じて、モデルの複数のモデルパラメータ (吸気量ばらつき係数 Ψ_i) を同定する同定手段 (E C U 2、適応オブザーバ61、ステップ111) と、同定された複数のモデルパラメータに応じて、複数の気筒に供給される燃料量を補正するための第3補正值 (吸気量ばらつき補正係数 K I C Y L_i) を気筒毎に算出する第3補正值算出手段 (E C U 2、吸気量ばらつき補正係数算出部62、ステップ112) と、算出された第3補正值に応じて、決定された燃料量を気筒毎に補正する第3燃料量補正手段 (E C U 2、第3空燃比コントローラ60、ステップ114) と、を備えることを特徴とする。

【0055】

この制御装置によれば、燃料量決定手段により、内燃機関の各気筒に供給される燃料量が決定され、1つの吸気通路に設けられた吸入空気量パラメータ検出手段により、吸入空気量パラメータが検出され、推定手段により、吸入空気量パラメータの推定値が、これと、複数の気筒に吸入される吸入空気量の挙動をそれぞれ模擬化した複数の模擬値との関係を定義したモデルを用いることにより推定され、同定手段により、吸入空気量パラメータの推定値が吸入空気量パラメータに一致するように、モデルの複数のモデルパラメータが同定され、第3補正值算出手段により、同定された複数のモデルパラメータに応じて、複数の気筒に供給される燃料量を補正するための第3補正值が気筒毎に算出され、第1燃料量補正手段により、算出された第3補正值に応じて、燃料量が気筒毎に補正される。このように、吸入空気量パラメータの推定値が検出された吸入空気量パラメータに一致するように、複数のモデルパラメータが同定されるので、複数のモデルパラメータを、複数の気筒に吸入される吸入空気量の実際の挙動、すなわち気筒間の吸入空気量のばらつきが反映された値として、同定することができる。したがって、そのような複数のモデルパラメータの同定値に応じて算出した第3補正值に応じて、燃料量を気筒毎に補正することにより、気筒間の吸入空気量のばらつきを

適切に補正することができる。また、例えば、同定手段としてオンボード同定器を用いることにより、第3補正值を、リアルタイムで同定されたモデルパラメータに基づいて算出することができる。それにより、吸入空気量パラメータ検出手段における応答ばらつきおよび経年変化などによって、制御対象の動特性が変化したときでも、従来と異なり、制御対象の動特性の変化をモデルに反映させながら、複数の気筒間の吸入空気量のばらつきを補正（吸収）するように燃料量を補正することができる。その結果、この制御装置を、複雑な排気レイアウトを有する内燃機関に適用した場合でも、気筒間の吸入空気量のばらつきを適切かつ迅速に補正することができ、空燃比を精度良く制御できる。すなわち、安定余裕が大きく、ロバスト性の高い空燃比制御を実現することができ、それにより、触媒が排気通路に設けられている場合には、良好な触媒浄化率を確保することができる。

【0056】

請求項23に係る発明は、請求項22に記載の制御装置1において、複数の気筒（1～4番気筒#1～4）からそれぞれ延びる複数の排気通路（排気管部7c～7f）が互いに1つの排気通路（集合部7j）に集合しており、1つの排気通路内の排気ガスの空燃比を表す空燃比パラメータ（検出空燃比KACT）を検出する空燃比パラメータ検出手段（LAFセンサ14）と、検出された空燃比パラメータ（検出空燃比KACT）を所定の目標値（目標空燃比KCMD）に収束させるように、各気筒に供給される燃料量を補正するための第4補正值（フィードバック補正係数KSTR）を算出する第4補正值算出手段（ECU2、第2空燃比コントローラ40、ステップ107）と、算出された第4補正值に応じて、各気筒に供給される燃料量を補正する第4燃料量補正手段（ECU2、第2空燃比コントローラ40）と、をさらに備え、第3補正值算出手段は、同定された複数のモデルパラメータ（吸気量ばらつき係数 Ψ_i ）がそれらの平均値（移動平均値 Ψ_{ave} ）に収束するように、第3補正值を気筒毎に算出する（ステップ111）ことを特徴とする。

【0057】

この制御装置によれば、第4補正值算出手段により、空燃比パラメータを所定

の目標値に収束させるように、各気筒に供給される燃料量を補正するための第4補正值が算出され、第4燃料量補正手段により、この第4補正值に応じて、各気筒に供給される燃料量が補正されるとともに、第3補正值算出手段により、同定された複数のモデルパラメータがそれらの平均値に収束するように、第3補正值が気筒毎に算出される。このように、第3補正值が、複数のモデルパラメータの同定値がそれらの平均値に収束するように算出されるので、複数の気筒間の吸入空気量のばらつきを補正することができ、それにより、空燃比パラメータを所定の目標値に収束させるための制御処理と、気筒間の吸入空気量のばらつきを補正するための制御処理とが互いに干渉し合うのを回避することができ、空燃比制御の安定性を確保できる。

【0058】

請求項24に係る発明は、請求項22または23に記載の制御装置1において、逐次型統計アルゴリズム [式(60)～(66)] を用いることにより、第3補正值の学習補正值 $K_{ICYL_LS_i}$ を気筒毎に算出する学習補正值算出手段 (ECU2、学習補正值算出部63、ステップ113) をさらに備え、第3燃料量補正手段は、算出された学習補正值に応じて、燃料量を気筒毎に補正する (ステップ114) ことを特徴とする。

【0059】

前述したように、同定演算アルゴリズムとして一般的な最小2乗法による同定演算では、制御の開始時、データの収集が終了するまでの間、モデルパラメータの同定が実行されないので、その間、モデルパラメータの同定値に応じて第3補正值を算出できないことで、空燃比制御の制御性が低下するおそれがある。これに対して、この制御装置によれば、第3補正值の学習補正值が、逐次型統計アルゴリズムにより算出されるので、空燃比制御の開始時でも、制御サイクル毎に算出された学習補正值により、第3補正值を補正することができる。したがって、例えば、第3補正值の初期値を予め設定しておいたり、または前回運転時に算出した学習補正值を今回運転時の学習補正值の初期値として用いたりすることによって、空燃比制御の開始時、モデルパラメータの同定が開始されるまでの間でも、制御サイクル毎に算出された学習補正值により、第3補正值を常に補正するこ

とができ、空燃比制御の開始時における制御性を向上させることができる。それにより、触媒が排気通路に設けられている場合には、空燃比制御の開始時における触媒浄化率を向上させることができる。

【0060】

請求項25に係る発明は、請求項24に記載の制御装置1において、内燃機関3の運転状態を表す運転状態パラメータ（排気ガスボリュームESV）を検出する運転状態パラメータ検出手段（ECU2、吸気管内絶対圧センサ11、クランク角センサ13）をさらに備え、学習補正值算出手段は、学習補正值KICYL_iを、学習補正值を従属変数としつつ検出された運転状態パラメータを独立変数とする回帰式【式（78）】により算出するとともに、回帰式の回帰係数AICYL_iおよび定数項BICYL_iを逐次型統計アルゴリズム【式（71）～（77）】により算出することを特徴とする。

【0061】

この制御装置によれば、第3補正值の学習補正值が、これを従属変数としつつ検出された運転状態パラメータを独立変数とする回帰式により算出されるとともに、回帰式の回帰係数および定数項が逐次型統計アルゴリズムにより算出されるので、内燃機関が過渡運転状態などの急激に変化する運転状態にあることで、その影響により、吸入空気量が急変し、その推定が困難な場合でも、学習補正值を、各気筒の吸入空気量の実際の状態が適切に反映された値として算出することができる。その結果、空燃比制御の制御性をさらに向上させることができる。

【0062】

請求項26に係る発明は、請求項22ないし25のいずれかに記載の制御装置1において、第3補正值算出手段は、第3補正值（吸気量ばらつき補正係数KICYL_i）に含まれる補正值成分を、同定されたモデルパラメータ（吸気量ばらつき係数Ψ_i）と所定の目標値（移動平均値Ψ_{ave}）との偏差e'に基づいて算出することを特徴とする。

【0063】

この制御装置によれば、第3補正值算出手段により、第3補正值に含まれる補正值成分が、モデルパラメータと所定の目標値との偏差に基づいて算出されるの

で、モデルパラメータが所定の目標値に収束するように、燃料量を気筒毎に補正することができ、それにより、吸入空気量を、定常偏差を生じることなく所定の値に収束するように、気筒毎に制御することができる。

【0064】

請求項27に係る発明は、請求項26に記載の制御装置1において、第3補正值算出手段は、第3補正值（吸気量ばらつき補正係数 K_{ICYL_i} ）に含まれる補正值成分以外の他の補正值成分を、同定されたモデルパラメータ（吸気量ばらつき係数 Ψ_i ）に基づいて算出することを特徴とする。

【0065】

この制御装置によれば、第3補正值が、モデルパラメータと所定の目標値との偏差に基づいて決定される補正值成分に加えて、モデルパラメータに基づいて決定される他の補正值成分をさらに含んでいるので、モデルパラメータが所定の目標値に収束するように、燃料量を気筒毎に補正した場合、吸入空気量を、オーバーシュートや振動的挙動を生じることなく安定した状態で所定の値に収束するよう、気筒毎に制御することができる。

【0066】

請求項28に係る発明は、請求項22ないし26のいずれかに記載の制御装置1において、第3補正值算出手段は、応答指定型制御アルゴリズム〔式（89）～（91）〕により、モデルパラメータ（吸気量ばらつき係数 Ψ_i ）に応じて第3補正值（吸気量ばらつき補正係数 K_{ICYL_i} ）を算出することを特徴とする。

【0067】

この制御装置によれば、応答指定型制御アルゴリズムにより、第3補正值がモデルパラメータに応じて決定されるので、例えば、モデルパラメータが所定の目標値に収束するように、燃料量を気筒毎に補正することができ、それにより、吸入空気量を、オーバーシュートや振動的挙動を生じることなく安定した状態で所定の値に収束するよう、気筒毎に制御することができる。

【0068】

請求項29に係る発明は、請求項22ないし28のいずれかに記載の制御装置

1において、同定手段は、固定ゲイン法 [式(92)～(99)]によりモデルパラメータ（吸気量ばらつき係数 Ψ ）を同定することを特徴とする。

【0069】

この制御装置によれば、モデルパラメータが固定ゲイン法により同定されるので、同定手段の演算負荷を低減することができる。それにより、第3補正値の演算時間を短縮することができるので、過渡運転状態などの各気筒の吸入空気量の変化速度が速いときでも、吸入空気量の挙動が適切に反映された値として、第3補正値を迅速かつ適切に気筒毎に算出することができる。また、固定ゲイン法として、モデルパラメータを、その基準値に所定の補正成分を加算することによって同定する手法を用いた場合には、この基準値の付近にモデルパラメータの同定値を拘束できるので、吸入空気量の変化速度の増大などに起因して、吸入空気量の実際の状態がモデルパラメータの同定値に不適切に反映されるのを回避でき、空燃比制御の安定性をさらに向上させることができる。

【0070】

請求項30に係る発明は、請求項25に記載の制御装置1において、同定手段は、モデルパラメータ基準値（基準値ベクトル ψ_{base} ）を運転状態パラメータ（排気ガスボリュームESV）に応じて算出し、算出したモデルパラメータ基準値に所定の補正成分（補正項ベクトル $d\psi$ ）を加算することにより、モデルパラメータ（吸気量ばらつき係数 Ψ ）を同定することを特徴とする。

【0071】

この制御装置によれば、運転状態パラメータに応じて算出したモデルパラメータ基準値に所定の補正成分を加算することにより、モデルパラメータが同定されるので、このモデルパラメータ基準値の付近にモデルパラメータの同定値を拘束できることにより、内燃機関の運転状態の変動の影響により吸入空気量の変化速度が速いときでも、吸入空気量の挙動が適切に反映された値として、第3補正値を迅速かつ適切に気筒毎に算出することができ、制御の安定性をさらに向上させることができる。

【0072】

請求項31に係る発明は、請求項22ないし30のいずれかに記載の制御装置

1において、複数の模擬値G A I R_O S_jを、所定の遅延時間（むだ時間d'）分、遅延する遅延手段（E C U 2、適応オブザーバ61）をさらに備え、同定手段は、吸入空気量パラメータおよび遅延された複数の遅延値に応じて、モデルパラメータ（吸気量ばらつき係数Ψ）を同定することを特徴とする。

【0073】

一般に、内燃機関では、吸気通路に吸入された空気が、分岐した吸気通路を介して各気筒に到達するまでの間には、所定のむだ時間が存在する。これに対して、この制御装置によれば、モデルパラメータが、吸入空気量パラメータおよび所定の遅延時間分、遅延された複数の模擬値に応じて同定されるので、上記むだ時間を反映させながら、モデルパラメータを精度良く同定することができ、制御の安定性をより一層、向上させることができる。

【0074】

請求項32に係る発明は、請求項22ないし31のいずれかに記載の制御装置1において、吸入空気量パラメータ（吸入空気量G A I R）に所定のフィルタリング処理を施すことにより、吸入空気量パラメータのフィルタ値（フィルタ値G A I R_F）を生成するフィルタ手段（フィルタ61j）をさらに備え、同定手段は、生成された吸入空気量パラメータのフィルタ値G A I R_Fおよび複数の模擬値に応じて、モデルパラメータ（吸気量ばらつき係数Ψ）を同定することを特徴とする。

【0075】

一般に、この種の制御装置では、内燃機関が過渡運転状態などの吸入空気量パラメータの絶対値の変動幅が大きい運転状態にあるときには、同定手段による同定処理がその変動に追従できないことなどに起因して、モデルパラメータの同定遅れが生じ、その同定精度が低下するおそれがある。これに対して、この制御装置によれば、同定手段により、所定のフィルタリング処理を施された吸入空気量パラメータのフィルタ値および模擬値に応じて、モデルパラメータが同定されるので、このフィルタリング処理のフィルタ特性を適切に設定することにより、吸入空気量パラメータの絶対値の変動幅が大きい場合でも、モデルパラメータの同定に必要な情報、すなわち各気筒の吸気挙動（ばらつきなど）の情報を確保しな

がら、吸入空気量パラメータの変動幅が抑制された値として、吸入空気量パラメータのフィルタ値を生成できる。したがって、そのようなフィルタ値および模擬値に応じて、モデルパラメータを同定することにより、モデルパラメータの同定遅れを抑制でき、その同定精度を高めることができ、空燃比制御の安定性と速応性をより一層、向上させることができる。

【0076】

【発明の実施の形態】

以下、図面を参照しながら、本発明の第1実施形態に係る制御装置について説明する。図1は、第1実施形態の制御装置1およびこれを適用したプラントとしての内燃機関3の概略構成を示している。同図に示すように、この制御装置1は、ECU2を備えており、このECU2は、後述するように、内燃機関（以下「エンジン」という）3の運転状態に応じて、これに供給する燃料量を制御することにより、混合気の空燃比を制御する。

【0077】

このエンジン3は、図示しない車両に搭載された直列4気筒型ガソリンエンジンであり、1～4番気筒#1～#4（複数の気筒）を備えている。このエンジン3の吸気管4は、1本の吸気通路を構成する主管部4a（1つの吸気通路）と、これに接続されたインテークマニホールド4bとを備えており、この主管部4aの途中には、スロットル弁5が設けられている。

【0078】

この主管部4aのスロットル弁5より上流側および下流側にはそれぞれ、エアフローセンサ9および吸気管内絶対圧センサ11が設けられている。このエアフローセンサ9は、吸気管4を介してエンジン3に吸入される吸入空気量G AIR（検出値、吸入空気量パラメータ）を検出し、その検出信号をECU2に出力する。

【0079】

また、吸気管内絶対圧センサ11は、例えば半導体圧力センサなどで構成され、吸気管4内の吸気管内絶対圧PBA（検出値、吸入空気量パラメータ）を検出し、その検出信号をECU2に出力する。なお、本実施形態では、エアフローセ

ンサ9により、検出手段、運転状態パラメータ検出手段および吸入空気量パラメータ検出手段が構成され、吸気管内絶対圧センサ11により、検出手段および吸入空気量パラメータ検出手段が構成されている。

【0080】

さらに、主管部4aのスロットル弁5の近傍には、例えばポテンショメータなどで構成されたスロットル弁開度センサ10が設けられている。このスロットル弁開度センサ10は、スロットル弁5の開度（以下「スロットル弁開度」という）THを検出して、その検出信号をECU2に出力する。

【0081】

また、吸気管4のインテークマニホールド4bは、主管部4aに接続された集合部4c（1つの吸気通路）と、これから分岐し、4つの気筒#1～#4にそれぞれ接続された4つの分岐部4d（複数の吸気通路）とで構成されている。各分岐部4dには、各気筒の図示しない吸気ポートの上流側に、インジェクタ6が取り付けられている。各インジェクタ6は、エンジン3の運転時に、ECU2からの駆動信号によって、その開弁時間である燃料噴射量および噴射タイミングが制御される。

【0082】

一方、エンジン3の本体には、例えばサーミスタなどで構成された水温センサ12が取り付けられている。水温センサ12は、エンジン3のシリンダブロック内を循環する冷却水の温度であるエンジン水温TWを検出し、その検出信号をECU2に出力する。

【0083】

また、エンジン3のクランクシャフト（図示せず）には、クランク角センサ13が設けられている。このクランク角センサ13（運転状態パラメータ検出手段）は、クランクシャフトの回転に伴い、いずれもパルス信号であるCRK信号およびTDC信号をECU2に出力する。

【0084】

CRK信号は、所定のクランク角（例えば 30° ）ごとに1パルスが出力される。ECU2は、このCRK信号に応じ、エンジン3の回転数（以下「エンジン

回転数」という) NEを算出する。また、TDC信号は、各気筒のピストン(図示せず)が吸気行程のTDC位置よりも若干、手前の所定のクランク角位置にあることを表す信号であり、所定クランク角ごとに1パルスが出力される。

【0085】

一方、排気管7は、4つの気筒#1～#4に接続されたエキゾーストマニホールド7bと、その集合部7jに接続された主管部7aとを備えており、このエキゾーストマニホールド7bは、4つの気筒#1～#4からそれぞれ延びる4つの排気管部7c～7f(複数の排気通路)が4→2→1の順に集合する形状を有している。すなわち、エキゾーストマニホールド7bでは、1番および4番気筒#1、#4から延びる2つ排気管部7c、7fが1つに集合した集合部7gと、2番および3番気筒#2、#3から延びる排気管部7d、7eが1つに集合した集合部7hと、これらの集合部7g、7hが1つに集合した集合部7j(1つの排気通路)とが一体に構成されている。このような形状により、エキゾーストマニホールド7bの排気抵抗は、4つの排気管部が4→1の順に集合する通常のエキゾーストマニホールドよりも小さい値に設定されており、これにより、エンジン3は、通常のエキゾーストマニホールドを有するものと比較して、より高い出力およびトルクを発生するように構成されている。

【0086】

また、排気管7の主管部7aには、上流側から順に第1および第2の触媒装置8a、8bが間隔を存して設けられている。各触媒装置8は、NO_x触媒と3元触媒を組み合わせたものであり、このNO_x触媒は、図示しないが、イリジウム触媒(イリジウムを担持した炭化ケイ素ウイスカ粉末とシリカの焼成体)をハニカム構造の基材の表面に被覆し、その上にペロブスカイト型複酸化物(LaCoO₃粉末とシリカの焼成体)をさらに被覆したものである。触媒装置8は、NO_x触媒による酸化還元作用により、リーンバーン運転時の排気ガス中のNO_xを浄化するとともに、3元触媒の酸化還元作用により、リーンバーン運転以外の運転時の排気ガス中のCO、HCおよびNO_xを浄化する。

【0087】

これらの第1および第2触媒装置8a、8bの間の主管部7aには、酸素濃度

センサ（以下「O₂センサ」という）16が取り付けられている。このO₂センサ15は、ジルコニアおよび白金電極などで構成され、第1触媒装置8aの下流側の排気ガス中の酸素濃度に基づく出力V_{out}をECU2に送る。このO₂センサ15の出力V_{out}は、理論空燃比よりもリッチな混合気が燃焼したときには、ハイレベルの電圧値（例えば0.8V）となり、混合気がリーンのときには、ローレベルの電圧値（例えば0.2V）となるとともに、混合気が理論空燃比付近のときには、ハイレベルとローレベルの間の所定の目標値V_{op}（例えば0.6V）となる。

【0088】

また、エキゾーストマニホールド7aの集合部7j付近には、LAFセンサ14が取り付けられている。このLAFセンサ14（検出手段、空燃比パラメータ検出手段）は、O₂センサ15と同様のセンサとリニアライザなどの検出回路とを組み合わせることによって構成されており、リッチ領域からリーン領域までの広範囲な空燃比の領域において排気ガス中の酸素濃度をリニアに検出し、その酸素濃度に比例する検出信号をECU2に出力する。ECU2は、このLAFセンサ14の検出信号に基づき、集合部7j付近の排気ガス中の空燃比を表す検出空燃比KACT（検出値、空燃比パラメータ）を算出する。なお、この検出空燃比KACTは、具体的には当量比として算出される。

【0089】

さらに、ECU2には、アクセル開度センサ16、大気圧センサ17、吸気温センサ18および車速センサ19などが接続されている。このアクセル開度センサ16は、車両の図示しないアクセルペダルの踏み込み量（以下「アクセル開度」という）APを検出し、その検出信号をECU2に出力する。また、大気圧センサ17、吸気温センサ18および車速センサ19はそれぞれ、大気圧PA、吸気温TAおよび車速VPを検出し、その検出信号をECU2に出力する。

【0090】

次に、ECU2について説明する。このECU2は、I/Oインターフェース、CPU、RAMおよびROMなどからなるマイクロコンピュータで構成されており、前述した各種のセンサ9～19の出力に応じて、エンジン3の運転状態を

判別するとともに、ROMに予め記憶された制御プログラムやRAMに記憶されたデータなどに従って、後述する空燃比制御処理を実行することにより、目標空燃比KCMD、フィードバック補正係数KSTR、空燃比ばらつき補正係数KOB_{SV}_iおよびその学習補正值KOB_{SV_L}_S_iなどを算出する。さらに、後述するように、これらのKCMD、KSTR、KOB_{SV}_iおよびKOB_{SV_L}_S_iの算出値などに基づいて、インジェクタ6の最終燃料噴射量TOUT_iを気筒毎に算出し、この算出した最終燃料噴射量TOUT_iに基づいた駆動信号で、インジェクタ6を駆動することにより、混合気の空燃比すなわち排気ガスの空燃比を気筒毎に制御する。なお、この最終燃料噴射量TOUT_iにおける添字「i」は、気筒の番号を表す気筒番号値であり（i=1～4）、この点は、上記空燃比ばらつき補正係数KOB_{SV}_i、学習補正值KOB_{SV_L}_S_iおよび後述する各パラメータなどにおいても、同様である。

【0091】

なお、本実施形態では、ECU2により、模擬値生成手段、推定手段、同定手段、第1制御手段、第2制御手段、学習補正值算出手段、補正手段、入力手段、遅延手段、燃料量決定手段、第1補正值算出手段、第1燃料量補正手段、第2補正值算出手段、第2燃料量補正手段、運転状態パラメータ検出手段、第3補正值算出手段、第3燃料量補正手段、第4補正值算出手段および第4燃料量補正手段が構成されている。

【0092】

図2に示すように、制御装置1は、基本燃料噴射量算出部20、第1空燃比コントローラ30、第2空燃比コントローラ40および付着補正部50などを備えており、これらはいずれも、具体的には、ECU2により構成されている。この制御装置1では、燃料量決定手段としての基本燃料噴射量算出部20により、基本燃料噴射量TIBSが、吸入空気量GAIRに応じて、図示しないテーブルを検索することにより算出される。

【0093】

また、後述するように、第1空燃比コントローラ30により、気筒間の空燃比のばらつきを補正するために、空燃比ばらつき補正係数KOB_{SV}_iおよびその

学習補正值 $K_{OBSV_LS_i}$ がそれぞれ算出され、第2空燃比コントローラ40により、検出空燃比 $KACT$ を目標空燃比 $KCMD$ に収束させるために、フィードバック補正係数 $KSTR$ が算出される。そして、基本燃料噴射量 $TIBS$ に、補正目標空燃比 $KCMDM$ 、総補正係数 $KTOTAL$ 、フィードバック補正係数 $KSTR$ 、空燃比ばらつき補正係数 $KOBSP_i$ 、および学習補正值 $KOBSV_LS_i$ がそれぞれ乗算されることにより、要求燃料噴射量 $TCYL_i$ が気筒毎に算出される。次いで、付着補正部50により、最終燃料噴射量 $TOUT_i$ が、要求燃料噴射量 $TCYL_i$ に基づいて気筒毎に算出される。

【0094】

次に、上記第1空燃比コントローラ30について説明する。この第1空燃比コントローラ30（第1燃料量補正手段）は、気筒間の空燃比のばらつきを補正するためのものであり、適応オブザーバ31、空燃比ばらつき補正係数算出部32、学習補正值算出部33および乗算部34で構成されている。

【0095】

この第1空燃比コントローラ30では、以下に述べるアルゴリズムにより、適応オブザーバ31（模擬値生成手段、推定手段、同定手段、遅延手段）において、空燃比ばらつき係数 Φ_i が気筒毎に算出され、空燃比ばらつき補正係数算出部32（第1制御手段、第1補正值算出手段）において、空燃比ばらつき補正係数 $KOBSP_i$ が気筒毎に算出され、学習補正值算出部33（学習補正值算出手段）において、空燃比ばらつき補正係数の学習補正值 $KOBSPV_LS_i$ が気筒毎に算出される。さらに、乗算部34（補正手段）により、空燃比ばらつき補正係数 $KOBSPV_1 \sim KOBSPV_4$ に、学習補正值 $KOBSPV_LS_1 \sim KOBSPV_LS_4$ がそれぞれ乗算される。すなわち、空燃比ばらつき補正係数 $KOBSPV_i$ が学習補正值 $KOBSPV_LS_i$ により補正される。

【0096】

次に、上記適応オブザーバ31のアルゴリズムについて説明する。まず、図3に示すように、エンジン3の排気系を、4つの模擬値 $KACT_OS_1 \sim KACT_OS_4$ および4つの空燃比ばらつき係数 $\Phi_1 \sim \Phi_4$ で表される系として見なす。これらの模擬値 $KACT_OS_i$ は、排気ガスの排出タイミングおよび排気拳

動を気筒毎に模擬化した値であり、空燃比ばらつき係数 Φ_i は、気筒間の排ガスの空燃比のばらつきおよび排気拳動の変動分を表す値である。この系を離散時間系モデルとしてモデル化すると、図4に示す式(1)が得られる。同式(1)において、記号 k は離散化した時間を表しており、記号(k)付きの各離散データ(時系列データ)は、TDC信号が発生する毎にサンプリングされたデータであることを示している。この点は、以下の本明細書中の他の離散データにおいても同様である(なお、離散データを、CRK信号が発生する毎にサンプリングしたデータとしてもよい)。また、 d は、各気筒から排出された排ガスがLAFセンサ14に到達するまでのむだ時間(所定の遅延時間)を表しており、本実施形態では、所定の一定値に予め設定される。なお、むだ時間 d をエンジン3の運転状態(エンジン回転数NEなど)に応じて設定してもよい。

【0097】

本実施形態の適応オブザーバ31では、上記式(1)の左辺を検出空燃比の推定値KACT_EST(k)に置き換えた式、すなわち図4の式(2)がモデルとして用いられ、模擬値KACT_OSiが、後述するように信号発生器31aにより生成されるとともに、式(2)のモデルパラメータとしての空燃比ばらつき係数 Φ_i のベクトル $\phi(k)$ が、推定値KACT_EST(k)が検出空燃比KACT(k)に一致するように、図4の式(3)～(9)に示す可変ゲイン型の逐次型最小2乗法アルゴリズムにより、同定される。

【0098】

同式(3)におけるKP(k)はゲイン係数のベクトルを、ide(k)は同定誤差をそれぞれ表している。また、式(4)における $\phi(k)^T$ は、 $\phi(k)$ の転置行列を表している。なお、以下の説明では、「ベクトル」という表記を適宜、省略する。式(3)の同定誤差ide(k)は、図4の式(5)～(7)により算出され、この式(6)の $\zeta(k)$ は、式(7)のように定義される模擬値のベクトルである。さらに、上記ゲイン係数のベクトルKP(k)は、図4の式(8)により算出され、この式(8)のP(k)は、図4の式(9)で定義される4次の正方行列である。

【0099】

この適応オブザーバ31では、以上の式(2)～(9)に示す逐次型最小2乗法アルゴリズムにより、空燃比ばらつき係数 Φ_i のベクトル $\phi(k)$ が同定される。それにより、エンジン3の運転状態が急変することなどに伴う排気挙動のノイズ的な変動成分を、空燃比ばらつき係数 Φ_i から除去(フィルタリング)することができ、空燃比ばらつき係数 Φ_i を、気筒間の空燃比のばらつきを実質的に示す値として算出することができる。

【0100】

以上の適応オブザーバ31の構成を、ブロック図で表すと図5に示すものとなる。すなわち、同図に示すように、この適応オブザーバ31では、信号発生器31aにより、模擬値KACT_OSiのベクトル $\zeta(k)$ が生成される。具体的には、この信号発生器31aでは、図6に示すように、模擬値KACT_OSiは、互いの和が常に値1になるように、三角波や台形波などを交互に組み合わせたような波形の信号値として生成される。さらに、乗算器31bにおいて、この模擬値のベクトル $\zeta(k)$ に、空燃比ばらつき係数のベクトル $\phi(k-1)$ を乗算した値として、検出空燃比の推定値KACT_EST(k)が生成される。そして、差分器31dにより、検出空燃比KACT(k)と推定値KACT_EST(k)との偏差として、同定誤差ide(k)が生成される。

【0101】

また、論理演算器31eにより、模擬値のベクトル $\zeta(k)$ に基づいて、ゲイン係数のベクトルKP(k)が生成され、乗算器31fにおいて、同定誤差ide(k)とゲイン係数のベクトルKP(k)の積[ide(k) · KP(k)]が生成される。次に、加算器31gにより、積[ide(k) · KP(k)]と、遅延された空燃比ばらつき係数のベクトル $\phi(k-1)$ との和として、空燃比ばらつき係数のベクトル $\phi(k)$ が生成される。

【0102】

次に、前記空燃比ばらつき補正係数算出部32における、空燃比ばらつき補正係数KOBSSVi(第1入力、第1補正值)を算出するアルゴリズムについて説明する。この空燃比ばらつき補正係数算出部32では、まず、図7の式(10)により、適応オブザーバ31で気筒毎に算出された空燃比ばらつき係数 $\Phi_i(k)$

) に基づき、空燃比ばらつき係数の移動平均値 $\Phi_{ave}(k)$ が算出される。次に、空燃比ばらつき係数 $\Phi_i(k)$ を移動平均値 $\Phi_{ave}(k)$ に収束させるよう、空燃比ばらつき補正係数 $KOB SV_i$ をI-PD制御（比例・微分先行型PID制御）アルゴリズムにより気筒毎に算出する。このI-PD制御アルゴリズムは、図7の式(11), (12)に示すものとなる。この式(12)の $e(k)$ は、追従誤差を表す。

【0103】

以上のように、空燃比ばらつき補正係数算出部32では、I-PD制御アルゴリズムにより、空燃比ばらつき係数 $\Phi_i(k)$ をその移動平均値 $\Phi_{ave}(k)$ に収束させるよう、空燃比ばらつき補正係数 $KOB SV_i$ が算出される。これは、空燃比ばらつき係数 $\Phi_i(k)$ の移動平均値 $\Phi_{ave}(k)$ への収束挙動において、オーバーシュートが発生しないように制御することにより、第1空燃比コントローラ30による、気筒間の空燃比のばらつきを補正する空燃比制御が、後述する第2空燃比コントローラ40による空燃比制御と互いに干渉し合うのを回避するためである。

【0104】

次に、前記学習補正值算出部33による、空燃比ばらつき補正係数 $KOB SV_i$ の学習補正值 $KOB SV_LS_i$ を算出するアルゴリズムについて説明する。上記空燃比ばらつき補正係数 $KOB SV_i$ は、エンジン3の運転状態の影響を受けやすいものであるため、エンジン3の運転状態が変化すると、それに応じて変化する。図8(a)は、エンジン3の運転状態を表す運転状態パラメータとしての排気ガスボリューム $ESV(k)$ と空燃比ばらつき補正係数 $KOB SV_i(k)$ との関係を示している。この排気ガスボリューム $ESV(k)$ （第2内部変数、運転状態パラメータ）は、空間速度の推定値であり、図9の式(13)により算出される。なお、同式(13)において、 $S V P R A$ は、エンジン3の排気量によって予め決定される所定の係数である。

【0105】

図8(a)を参照すると、空燃比ばらつき補正係数 $KOB SV_i(k)$ においては、これを従属変数とし、排気ガスボリューム $ESV(k)$ を独立変数とする

1次式により、空燃比ばらつき補正係数 $K_{OBSV_i}(k)$ の近似値すなわち推定値を算出できることが判る（図8（b）参照）。したがって、学習補正值算出部33では、空燃比ばらつき補正係数の学習補正值 $K_{OBSV_LS_i}(k)$ を、図9の式（14）に示す回帰式により算出される推定値として定義するとともに、その回帰係数 $A_{OBSV_LS_i}$ および定数項 $B_{OBSV_LS_i}$ のベクトル（以下「回帰係数ベクトル」という） $\theta_{OBSV_LS_i}(k)$ が、図9の式（15）～（21）に示す逐次型最小2乗法により算出される。

【0106】

この式（15）において、 $KQ_i(k)$ はゲイン係数のベクトルを、 $E_{ov_i}(k)$ は誤差をそれぞれ表している。また、この誤差 $E_{ov_i}(k)$ は、図9の式（17）～（19）により算出される。さらに、上記ゲイン係数のベクトル $KQ_i(k)$ は、図9の式（20）により算出され、この式（20）の $Q_i(k)$ は、図9の式（21）で定義される2次の正方行列である。

【0107】

また、学習補正值 $K_{OBSV_LS_i}(k)$ は、具体的には、図9の式（22）により算出される。なお、後述するように、エンジン3が極端な運転状態または運転環境にあるときには、以上の逐次型最小2乗法による回帰係数 $A_{OBSV_LS_i}$ および定数項 $B_{OBSV_LS_i}$ の算出は回避され、その回帰係数ベクトルの前回値 $\theta_{OBSV_LS_i}(k-1)$ が、学習補正值 $K_{OBSV_LS_i}(k)$ の算出において、今回値 $\theta_{OBSV_LS_i}(k)$ として使用される。

【0108】

以上の式（13），（15）～（22）に示すアルゴリズムにより、学習補正值算出部33では、学習補正值 $K_{OBSV_LS_i}(k)$ が、これと空燃比ばらつき補正係数 $K_{OBSV_i}(k)$ との積に収束するように、算出される。

【0109】

次に、前記第2空燃比コントローラ40について説明する。この第2空燃比コントローラ40は、具体的には、オンボード同定器41およびSTRコントローラ42を備えたSTR（Self Tuning Regulator）として構成されている。この第2空燃比コントローラ40では、検出空燃比KACTを目標空燃比KCMD（

所定の目標値)に収束させるように、フィードバック補正係数KSTRが算出される。より具体的には、以下に述べるアルゴリズムにより、オンボード同定器41で1番気筒#1のモデルパラメータベクトル θ が同定され、STRコントローラ42でフィードバック補正係数KSTR(第2入力、第2および第4補正值)が算出される。なお、本実施形態では、この第2空燃比コントローラ40により、第2制御手段、第2補正值算出手段、第2燃料量補正手段、第4補正值算出手段および第4燃料量補正手段が構成されている。

【0110】

まず、1番気筒#1を、フィードバック補正係数KSTRを入力とし、検出空燃比KACTを出力とする制御対象として見なすとともに、この制御対象を離散時間系モデルとしてモデリングすると、図10の式(23)に示すものとなる。同式(23)において、記号nは離散化した時間を表しており、記号(n)付きの各離散データは、1燃焼サイクル毎すなわちのTDC信号が連続して4回発生する毎にサンプリングされたデータであることを示している。この点は、以下の離散データにおいても同様である。

【0111】

ここで、目標空燃比KCMDに対する検出空燃比KACTのむだ時間は、燃焼サイクル3回分程度と推定されるので、KCMD(n)=KACT(n+3)の関係が成立し、これを式(23)に適用すると、図10の式(24)が導出される。

【0112】

また、式(23)のモデルパラメータ $b_0(n)$, $r_1(n)$, $r_2(n)$, $r_3(n)$, $s_0(n)$ のベクトル $\theta(n)$ は、図に示す式(25)～(31)の同定アルゴリズムにより同定される。同式(25)における $K\Gamma(n)$ はゲイン係数のベクトルを、ide_st(n)は同定誤差をそれぞれ表している。また、式(26)における $\theta(n)^T$ は、 $\theta(n)$ の転置行列を表している。

【0113】

上記式(25)の同定誤差ide_st(n)は、図10の式(27)～(29)により算出され、式(28)のKACTHAT(n)は、検出空燃比KAC

T の同定値を表している。さらに、上記ゲイン係数のベクトル $K\Gamma(n)$ は、図 10 の式 (30) により算出され、この式 (30) の $\Gamma(n)$ は、図 10 の式 (31) で定義される 5 次の正方行列である。

【0114】

本実施形態のような制御系では、以上の式 (24) ~ (31) のアルゴリズムにより空燃比制御を実行した場合、LAFセンサ 14 のローパス特性が強いときに、モデルパラメータベクトル θ の更新周期の整数倍の周期で、制御系の共振が起きることがある。それを解消するために、本実施形態の第 2 空燃比コントローラ 40 では、以下のように、フィードバック補正係数 $KSTR$ を算出する。

【0115】

すなわち、本実施形態の第 2 空燃比コントローラ 40 では、オンボード同定器 41 により同定された 1 番気筒 #1 のモデルパラメータベクトル θ を、TDC 信号の発生タイミングに同期してオーバーサンプリングするとともに、その移動平均値 θ_{ave} を算出する。具体的には、モデルパラメータベクトル θ の移動平均値 $\theta_{ave}(k)$ を、図 11 の式 (32) により算出するとともに、これを用いて、図 11 の式 (34) により、フィードバック補正係数 $KSTR(k)$ を算出する。なお、式 (32) における θ_{buf} は、1 番気筒 #1 のモデルパラメータベクトル θ のオーバーサンプリング値を示しており、移動平均値 $\theta_{ave}(k)$ は、図 11 の式 (33) のように規定される。また、式 (32) の m は、所定の整数であり、本実施形態では、 $m = 11$ に設定される。

【0116】

前述したように、これらの式 (32) ~ (34) における記号 (k) 付きの各離散データは、TDC 信号の発生タイミングに同期してサンプリングされたデータであるので、 $n - f = k - 4 \cdot f$ (f : 整数) の関係が成立し、これを図 10 の式 (24) に適用すると、上記式 (34) が導出される。さらに、モデルパラメータベクトル $\theta(k)$ を同定する同定アルゴリズムは、図 11 の式 (35) ~ (41) に示すものとなる。

【0117】

以上のように、本実施形態の第 2 空燃比コントローラ 40 のオンボード同定器

4.1では、図11の式(35)～(41)に示す同定アルゴリズムによって、モデルパラメータベクトル θ が同定され、STRコントローラ4.2では、図11の式(32)～(34)により、フィードバック補正係数KSTR(k)が算出される。

【0118】

以下、ECU2により実行される空燃比制御について、図12～図17を参照しながら説明する。なお、以下の説明では、今回値であることを示す記号(k), (n)を適宜、省略する。図12は、この制御処理のメインルーチンを示しており、本処理は、TDC信号の入力に同期して割り込み実行される。この処理では、以下に述べるように、最終燃料噴射量TOUT_iが気筒毎に算出される。

【0119】

まず、ステップ1(図では「S1」と略す。以下同じ)において、前述した各種のセンサ9～19の出力を読み込むとともに、読み込んだデータをRAM内に記憶する。

【0120】

次に、ステップ2に進み、基本燃料噴射量TIBSを算出する。この処理では、吸入空気量GAIRに応じて、図示しないテーブルを検索することにより、基本燃料噴射量TIBSが算出される。

【0121】

次いで、ステップ3に進み、総補正係数KTOTALを算出する。この総補正係数KTOTALは、各種の運転パラメータ(例えば吸気温TAや、大気圧PA、エンジン水温TW、アクセル開度AP、スロットル弁開度THなど)に応じて、各種のテーブルやマップを検索することで各種の補正係数を算出するとともに、これらの各種の補正係数を互いに乗算することにより、算出される。

【0122】

次に、ステップ4に進み、目標空燃比KCMDを算出する。この目標空燃比KCMDの算出処理の内容は、ここでは図示しないが、特開2000-179385号公報に記載の制御手法と同様に実行される。すなわち、目標空燃比KCMDは、エンジン3の運転状態に応じて、スライディングモード制御処理またはマッ

プ検索処理により、O2センサ15の出力Voutが所定の目標値Vopに収束するように、算出される。

【0123】

次いで、ステップ5に進み、補正目標空燃比KCMDMを算出する。この補正目標空燃比KCMDMは、空燃比A/Fの変化による充填効率の変化を補償するためのものであり、上記ステップ4で算出された目標空燃比KCMDに応じて、図示しないテーブルを検索することにより算出される。

【0124】

次に、ステップ6および7において、1番気筒#1のモデルパラメータベクトル θ およびフィードバック補正係数KSTRをそれぞれ算出する。これらの算出処理については、後述する。

【0125】

次いで、ステップ8～10において、空燃比ばらつき係数のベクトル ϕ 、空燃比ばらつき補正係数KOBSV_iおよびその学習補正值KOBSV_LSiをそれぞれ算出する。これらの算出処理については、後述する。

【0126】

次に、ステップ11に進み、以上のように算出した基本燃料噴射量TIBS、総補正係数KTOTAL、補正目標空燃比KCMDM、フィードバック補正係数KSTR、空燃比ばらつき補正係数KOBSV_iおよび学習補正值KOBSV_LSiを用い、下式(42)により要求燃料噴射量TCYL_iを算出する。

【0127】

$$TCYL_i = TIBS \cdot KTOTAL \cdot KCMDM \cdot KSTR \cdot KOBSV_i \cdot KOBSV_LSi \quad \dots \quad (42)$$

【0128】

次いで、ステップ12に進み、要求燃料噴射量TCYL_iを付着補正することにより、最終燃料噴射量TOUT_iを算出する。この最終燃料噴射量TOUT_iは、具体的には、今回の燃焼サイクルでインジェクタ6から噴射された燃料が燃焼室の内壁面に付着する割合などを、エンジン3の運転状態に応じて算出し、そのように算出した割合に基づいて、要求燃料噴射量TCYL_iを補正することにより、算出される。

【0129】

次に、ステップ13に進み、以上のように算出した最終燃料噴射量 T_{OUT_i} に基づく駆動信号を、対応する気筒のインジェクタ6に出力した後、本処理を終了する。

【0130】

次に、前記ステップ6のモデルパラメータベクトル θ の算出処理について説明する。この処理では、まず、ステップ20において、各パラメータの添字「i」に相当する気筒番号値 i の設定処理を実行する。

【0131】

この処理では、図示しないが、気筒番号値 i が、RAMに記憶されている、前回ループで設定された気筒番号値 i の前回値 PRV_i に基づいて、以下のように設定される。具体的には、 $PRV_i = 1$ のときには $i = 3$ に、 $PRV_i = 2$ のときには $i = 1$ に、 $PRV_i = 3$ のときには $i = 4$ に、 $PRV_i = 4$ のときには $i = 2$ にそれぞれに設定される。以上のように、気筒番号値 i は、例えば「1 → 3 → 4 → 2 → 1 → 3 → 4 → 2 → 1 ……」の順に、繰り返し設定される。

【0132】

次いで、ステップ21に進み、上記ステップ20で設定された気筒番号値 i が値1であるか否かを判別する。この判別結果が YES で、1番気筒#1のモデルパラメータベクトル θ を算出すべきときには、ステップ22に進み、RAMに記憶されている、前回のループでのモデルパラメータベクトル θ の算出値を、その前回値 $PRV_\theta [= \theta(n-1)]$ として設定する。

【0133】

次に、ステップ23に進み、前述した図11の式(39)により、ベクトル ξ を算出した後、ステップ24で、前述した図11の式(38)により、KACT の同定値 KACT_HAT を算出する。

【0134】

次いで、ステップ25に進み、前述した図11の式(37)により、同定誤差 ide_{est} を算出した後、ステップ26で、RAMに記憶されている、前回のループでの正方行列の次回値 $NEX\Gamma [= \Gamma(n+1)]$ の算出値を、その今回

値 Γ として設定する。

【0135】

次に、ステップ27に進み、前述した図11の式(40)により、ゲイン係数のベクトル $K\Gamma$ を算出した後、ステップ28に進み、前述した図11の式(35)により、モデルパラメータベクトル θ を算出する。

【0136】

次いで、ステップ29に進み、前述した図11の式(41)により、正方行列の次回値 $NEX\Gamma$ を算出した後、ステップ30に進み、RAMに記憶されている、前回以前の所定個数(本実施形態では12個)の検出空燃比KACTの値を更新する。具体的には、RAM内のKACTの各々の値を、1制御サイクル分、古い値としてセットする(例えば、今回値KACT(k)を前回値KACT(k-1)として、前回値KACT(k-1)を前々回値KACT(k-2)としてそれぞれセットする)。

【0137】

次いで、ステップ31に進み、RAMに記憶されている、所定個数(本実施形態では12個)の1番気筒#1のモデルパラメータベクトル θ のオーバーサンプリング値 θ_{buf} を更新する。具体的には、上記ステップ30と同様に、RAM内の θ_{buf} の各々の値を、1制御サイクル分、古い値としてセットする(例えば、今回値 $\theta_{buf}(k)$ を前回値 $\theta_{buf}(k-1)$ として、前回値 $\theta_{buf}(k-1)$ を前々回値 $\theta_{buf}(k-2)$ としてそれぞれセットする)。この後、本処理を終了する。

【0138】

一方、前記ステップ21の判別結果がNOで、モデルパラメータベクトル θ を算出する必要がないときには、ステップ22～29をスキップし、ステップ30，31を上記のように実行した後、本処理を終了する。

【0139】

次に、図14を参照しながら、前記ステップ7のフィードバック補正係数KSTRの算出処理について説明する。この処理では、まず、ステップ40において、前述した図11の式(32)により、モデルパラメータベクトルの移動平均値

θ_{ave} を、上記ステップ31で更新されたオーバーサンプリング値 θ_{buf} に基づいて算出する。

【0140】

次いで、ステップ41で、前述した図11の式(34)により、上記ステップ41で算出した移動平均値 θ_{ave} に基づき、フィードバック補正係数KSTRを算出する。

【0141】

次に、ステップ42に進み、RAMに記憶されている、前回以前の所定個数(本実施形態では12個)のフィードバック補正係数KSTRの値を更新する。具体的には、RAM内のKSTRの各々の値を、1制御サイクル分、古い値としてセットする(例えば、今回値KSTR(k)を前回値KSTR(k-1)として、前回値KSTR(k-1)を前々回値KSTR(k-2)としてそれぞれセットする)。この後、本処理を終了する。

【0142】

次に、図15を参照しながら、前記ステップ8の空燃比ばらつき係数のベクトル ϕ の算出処理について説明する。この処理では、まず、ステップ50において、RAMに記憶されている、前回のループでの空燃比ばらつき係数のベクトル ϕ の算出値を、その前回値 $PRV\phi [= \phi(k-1)]$ として設定する。

【0143】

次いで、ステップ51に進み、前記図4の式(7)により、模擬値のベクトル ξ を算出した後、ステップ52に進み、前記図4の式(6)により、検出空燃比の推定値KACT_ESTを算出する。

【0144】

次に、ステップ53に進み、前述した図4の式(5)により、同定誤差ideを算出した後、ステップ54に進み、RAMに記憶されている、前回のループでの正方行列の次回値NEXP [= P(k+1)]の算出値を、その今回値Pとして設定する。

【0145】

次いで、ステップ55に進み、前述した図4の式(8)により、ゲイン係数の

ベクトル K_P を算出した後、ステップ 56 に進み、前述した図4の式(3)により、空燃比ばらつき係数のベクトル ϕ を算出する。

【0146】

次に、ステップ 57 に進み、前述した図4の式(9)により、正方行列の次回値 $NEXP [= P(k+1)]$ を算出した後、ステップ 58 に進み、RAMに記憶されている所定個数(本実施形態では 12 個)の模擬値 $KACT_OS_i$ の時系列データを更新する。具体的には、RAM内の模擬値 $KACT_OS_i$ の各々の値を、1 制御サイクル分、古い値としてセットする(例えば、今回値 $KACT_OS_i(k)$ を前回値 $KACT_OS_i(k-1)$ として、前回値 $KACT_OS_i(k-1)$ を前々回値 $KACT_OS_i(k-2)$ としてそれぞれセットする)。

【0147】

次いで、ステップ 59 に進み、模擬値の今回値 $KACT_OS_i$ を算出した後、本処理を終了する。

【0148】

次に、図16を参照しながら、前記ステップ9の空燃比ばらつき補正係数 KOB_SV_i の算出処理について説明する。この処理では、まず、ステップ 70 において、前述した図7の式(10)により、空燃比ばらつき係数の移動平均値 Φave を算出する。

【0149】

次いで、ステップ 71 に進み、前述した図7の式(12)により、追従誤差 e を算出した後、ステップ 72 で、追従誤差の積分値 Σe を算出する。次に、ステップ 73 に進み、上記ステップ 70, 72 で算出した空燃比ばらつき係数の移動平均値 Φave および追従誤差の積分値 Σe を用い、前述した図7の式(11)により、空燃比ばらつき補正係数 KOB_SV_i を算出した後、本処理を終了する。

【0150】

次に、図17を参照しながら、前記ステップ10における空燃比ばらつき補正係数の学習補正值 $KOB_SV_LS_i$ の算出処理について説明する。この処理で

は、まず、ステップ80において、前述した図9の式(13)により、排気ガスボリュームESVを算出する。

【0151】

次いで、ステップ81に進み、RAMに記憶されている、前回のループでの回帰係数ベクトル $\theta_{OBSV_LS_i}$ の算出値を、その前回値 $PRV\theta_{OBSV_LS_i} [= \theta_{OBSV_LS_i}(k-1)]$ として設定する。

【0152】

次に、ステップ82に進み、前述した図9の式(22)により、学習補正值 $K_{OBSV_LS_i}$ を算出する。この後、ステップ83に進み、下記の5つの条件(a1)～(a5)がいずれも成立しているか否かを判別する。

(a1) エンジン水温TWが所定の下限値TWOBSLより高くかつ所定の上限値TWOBSHよりも低いこと。

(a2) 吸気温TAが所定の下限値TAOBSLより高くかつ所定の上限値TAOBSHよりも低いこと。

(a3) エンジン回転数NEが所定の下限値NEOBSLより高くかつ所定の上限値NEOBSHよりも低いこと。

(a4) 吸気管内絶対圧PBAが所定の下限値PB0BSLより高くかつ所定の上限値PB0BSHよりも低いこと。

(a5) 車速VPが所定の下限値VP0BSLより高くかつ所定の上限値VP0BSHよりも低いこと。

【0153】

以上の5つの条件(a1)～(a5)がいずれも成立しているときには、逐次型最小2乗法により、回帰係数ベクトル $\theta_{OBSV_LS_i}$ を算出すべき運転状態にあるとして、ステップ84に進み、前述した図9の式(19)により、排気ガスボリュームのベクトルZを算出する。

【0154】

次に、ステップ85に進み、前述した図9の式(17)により、誤差 E_{ov_i} を算出した後、ステップ86に進み、RAMに記憶されている、前回のループでの正方行列の次回値 $NEXQ_i [= Q_i(k+1)]$ の算出値を、今回値 Q_i

として設定する。

【0155】

次いで、ステップ87に進み、前述した図9の式(20)により、ゲイン係数のベクトル KQ_i を算出した後、ステップ88に進み、前述した図9の式(15)により、回帰係数ベクトル $\theta OBSV_LS_i$ を算出する。次に、ステップ89に進み、前述した図9の式(21)により、正方行列の次回値 $NEXQ_i [= Q_i(k+1)]$ を算出した後、本処理を終了する。

【0156】

一方、前記ステップ83の判別結果がNOで、前記5つの条件(a1)～(a5)の少なくとも1つが成立していないときには、ステップ90に進み、前記ステップ81で設定した回帰係数ベクトルの前回値 $PRV\theta OBSV_LS_i$ を、今回値 $\theta OBSV_LS_i$ に設定した後、本処理を終了する。これにより、例えば次のループでのステップ81の処理において、回帰係数ベクトルの前回値 $PRV\theta OBSV_LS_i$ として、今回のループでステップ84～89の逐次型最小2乗法により算出された値が用いられる。

【0157】

次に、図18および図19を参照しながら、以上の制御装置1により空燃比を制御した場合の動作について説明する。図18は、本実施形態の制御装置1により空燃比を制御した場合を示しており、より具体的には、第2空燃比コントローラ40により、検出空燃比 $KACT$ が値1(理論空燃比に相当する当量比)になるように制御している場合において、第1空燃比コントローラ30を停止状態から作動させたとき、すなわち、第1空燃比コントローラ30により、空燃比ばらつき係数 Φ_i 、空燃比ばらつき補正係数 $KOBSV_i$ および学習補正值 $KOBSV_LS_i$ の算出を開始したときの動作例を示している。

【0158】

また、図19は、比較のために、学習補正值 $KOBSV_LS_i$ を、前述した式(11)，(12)のI-PD制御アルゴリズムに代えて、通常のPID制御アルゴリズム(図20の式(43)，(44)に示すアルゴリズム)により算出した場合の動作の比較例を示している。また、両図において、 $KACT_{1\sim 4}$ の値

はそれぞれ、1番～4番気筒#1～#4から排出された、互いに混じり合っていない状態の排気ガス中の空燃比（当量比換算値）を表しており、具体的には、4つの測定用のLAFセンサ（図示せず）を、エキゾーストマニホールド7aの気筒#1～#4の排気ポートの直後の部分に追加して設けるとともに、これらのLAFセンサの出力に基づいてKACT_{1～4}の値が算出される。

【0159】

図18に示すように、本実施形態の動作例では、第1空燃比コントローラ30が停止されているときには、各気筒から排出された排気ガスの空燃比を表すKACT_{1～4}が不安定な状態となり、その影響で、検出空燃比KACTも若干、不安定な状態となる。しかし、第1空燃比コントローラ30が作動すると（時刻t1）、若干の時間が経過した後、KACT_{1～4}がいずれも値1（理論空燃比に相当する当量比）に収束し、それに伴って、検出空燃比KACTも値1に収束していることが判る。すなわち、気筒間の空燃比のばらつきが適切に補正されていることが判る。また、空燃比ばらつき補正係数および学習補正值の積KOB_i・KOB_{SV}_i・KOB_{SV}_{LS}_i（i=1～4）の値も安定していることが判る。

【0160】

これに対して、図19の比較例では、第1空燃比コントローラ30が作動した時点（時刻t2）から、KACT_{1～4}がいずれも値1に収束するまでの整定時間が本実施形態の動作例よりも長く、それに伴い、検出空燃比KACTも値1になかなか収束しないことが判る。これに加えて、空燃比ばらつき補正係数および学習補正值の積KOB_i・KOB_{SV}_i・KOB_{SV}_{LS}_iの値もなかなか安定しないことが判る。すなわち、本実施形態のように、I-PD制御アルゴリズムを用いることにより、通常のPID制御アルゴリズムを用いた場合と比べて、気筒間の空燃比のばらつきを迅速かつ適切に補正できることが判る。これは、I-PD制御アルゴリズムの方が、PID制御アルゴリズムよりも、空燃比ばらつき係数Φ_iの移動平均値Φ_{ave}への収束挙動において、オーバーシュートが発生しないよう、学習補正值KOB_{SV}_{LS}_iを算出できることによる。

【0161】

以上のように、本実施形態の制御装置1によれば、第1空燃比コントローラ3

0により、空燃比ばらつき係数 Φ_i が算出され、これが移動平均値 Φ_{ave} に収束するように、空燃比ばらつき補正係数 $KOB SV_i$ が算出され、その学習補正值 $KOB SV_L S_i$ が算出される。また、第2空燃比コントローラ40により、検出空燃比 $KACT$ が目標空燃比 $KCMD$ に収束するように、フィードバック補正係数 $KSTR$ が算出される。そして、算出されたフィードバック補正係数 $KSTR$ 、空燃比ばらつき補正係数 $KOB SV_i$ および学習補正值 $KOB SV_L S_i$ によって、基本燃料噴射量 $TIBS$ が補正されることにより、最終燃料噴射量 $TOUT_i$ が気筒毎に算出される。

【0162】

この第1空燃比コントローラ30の適応オブザーバ31では、検出空燃比 $KACT$ の推定値 $KACT_EST$ が、これと、模擬値 $KACT_OS_i$ および空燃比ばらつき係数 Φ_i とにより定義されるモデル [式(2)] を用いることによって推定され、さらに、この推定値 $KACT_EST$ が検出空燃比 $KACT$ に一致するように、モデルパラメータとしての空燃比ばらつき係数 Φ_i が逐次型最小2乗法により同定される。これにより、エンジン3の運転状態が急変することなどに伴う排気挙動のノイズ的な変動成分を、空燃比ばらつき係数 Φ_i から除去(フィルタリング)することができ、空燃比ばらつき係数 Φ_i を、気筒間の空燃比のばらつきを実質的に示す値として算出することができる。したがって、そのような空燃比ばらつき係数 Φ_i に基づいて算出された空燃比ばらつき補正係数 $KOB SV_i$ により、基本燃料噴射量 $TIBS$ が気筒毎に補正されるので、各気筒での燃料付着による検出空燃比 $KACT$ への各気筒の寄与度の変化、LAFセンサ14の応答ばらつきおよび経年変化などによって、制御対象の動特性が変化したときでも、従来と異なり、制御対象の動特性の変化をモデルに反映させながら、気筒間の空燃比のばらつきを補正するように、最終燃料噴射量 $TOUT_i$ を気筒毎に算出することができる。その結果、第1実施形態のように、複雑な排気レイアウトを有するエンジン3の空燃比を制御する場合でも、安定余裕が大きく、ロバスト性の高い空燃比制御を実現することができ、良好な触媒浄化率を確保することができる。

【0163】

また、第1空燃比コントローラ30では、空燃比ばらつき補正係数K_{OBSV_i}がI-PD制御アルゴリズムにより算出されるので、空燃比ばらつき係数Φ_iの移動平均値Φ_{a ve}への収束挙動において、オーバーシュートが発生しないよう、空燃比ばらつき補正係数K_{OBSV_i}を算出することができる。これより、各気筒の空燃比の挙動が振動的になるのを回避しながら、気筒間の空燃比のばらつきを補正できる。さらに、空燃比ばらつき補正係数K_{OBSV_i}が、空燃比ばらつき係数Φ_iを移動平均値Φ_{a ve}に収束させるように算出されるので、第1空燃比コントローラ30による空燃比制御が、第2空燃比コントローラ40による空燃比制御と互いに干渉し合うのを回避しながら、気筒間の空燃比のばらつきを補正できる。

【0164】

さらに、第1空燃比コントローラ30では、空燃比ばらつき補正係数K_{OBSV_i}の学習補正值K_{OBSV_LSi}が、排気ガスボリュームESVを独立変数とする回帰式【式(22)】により算出されるとともに、この回帰式の回帰係数A_{OBSV_LSi}および定数項B_{OBSV_LSi}のベクトルである回帰係数ベクトルθ_{OBSV_LSi}が、逐次型最小2乗法により算出される。そのため、エンジン3が過渡運転状態などの急激に変化する運転状態にあることで、その影響により気筒間の空燃比のばらつき状態が急激に変化するときでも、学習補正值K_{OBSV_LSi}を気筒間の空燃比のばらつき状態が適切に反映された値として算出することができる。その結果、エンジン3が過渡運転状態にあるときでも、気筒間の空燃比のばらつきを補償しながら、空燃比を適切に制御することができる。

【0165】

また、空燃比ばらつき係数Φ_iおよび回帰係数ベクトルθ_{OBSV_LSi}が、逐次型最小2乗法により算出されるので、統計アルゴリズムとして一般的な最小2乗法を用いる場合と比べて、空燃比制御の開始時でも、空燃比ばらつき補正係数K_{OBSV_i}および学習補正值K_{OBSV_LSi}を制御サイクル毎に算出することができる。したがって、例えば、K_{OBSV_i}、K_{OBSV_i}の初期値を予め設定しておくことにより、空燃比制御の開始時、制御サイクル毎に算出された学

習補正值 $K_{OBSV_LS_i}$ と、空燃比ばらつき補正係数 K_{OBSV_i} との積により常に補正された値として、最終燃料噴射量 T_{OUT_i} を算出することができ、空燃比制御の開始時における制御性を向上させることができる。それにより、空燃比制御の開始時における触媒浄化率をさらに向上させることができる。

【0166】

なお、第1実施形態は、学習補正值 $K_{OBSV_LS_i}$ の算出に用いる回帰式として1次式を用いた例であるが、回帰式はこれに限らず、n次式（nは2以上の整数）でもよい。そのようにした場合でも、n次式の回帰係数および定数項を逐次型最小2乗法で算出することにより、第1実施形態と同様の作用効果を得ることができる。また、回帰式の回帰係数および定数項として、複数の運転領域毎に予め設定された所定値を用いることにより、学習補正值 $K_{OBSV_LS_i}$ を算出してもよい。このようにすれば、学習補正值 $K_{OBSV_LS_i}$ の演算時間を短縮することができ、ECU2の演算負荷を低減することができる。

【0167】

また、空燃比ばらつき係数 Φ_i をその移動平均値 Φ_{ave} に収束させるために、空燃比ばらつき補正係数 K_{OBSV_i} を算出する制御アルゴリズムは、第1実施形態のI-PD制御アルゴリズムに限らず、他の制御アルゴリズムを用いてもよいことは言うまでもない。例えば、I-PD制御アルゴリズムに代えて、図20の式(45)、(46)に示すIP-D制御アルゴリズム（微分先行型PID制御アルゴリズム）を用いることにより、空燃比ばらつき補正係数 K_{OBSV_i} を算出してもよく、また、同図の式(47)～(49)に示す応答指定型制御アルゴリズム（スライディングモード制御アルゴリズムまたはバックステッピング制御アルゴリズム）を用いることにより、空燃比ばらつき補正係数 K_{OBSV_i} を算出してもよい。これらの制御アルゴリズムを用いた場合でも、実施形態のI-PD制御アルゴリズムを用いた場合と同様に、空燃比ばらつき係数 Φ_i の移動平均値 Φ_{ave} への収束挙動において、オーバーシュートが発生しないように、空燃比ばらつき補正係数 K_{OBSV_i} を算出することができ、その結果、気筒間の空燃比のばらつきを迅速かつ適切に補正できる。

【0168】

さらに、以上のように、空燃比ばらつき補正係数K_{OBSV_i}の算出において、I-PD制御アルゴリズム、IP-D制御アルゴリズムおよび応答指定型制御アルゴリズムを用いた場合には、そのフィードバックゲインを最適レギュレータ理論またはH_∞制御理論に基づいて決定してもよい。このようにすれば、空燃比ばらつき係数Φ_iの移動平均値Φ_{a ve}への収束挙動において、オーバーシュートの発生をより効果的に抑制でき、その結果、気筒間の空燃比のばらつき補正の精度をさらに向上させることができる。

【0169】

また、空燃比ばらつき係数Φ_iが移動平均値Φ_{a ve}に収束するまでの整定時間が長くてもよい場合には、前述した図20の式(43)、(44)に示すPID制御アルゴリズムにより、空燃比ばらつき補正係数K_{OBSV_i}を算出してもよいことは言うまでもない。さらに、空燃比ばらつき係数Φ_iを収束させる目標値としての空燃比ばらつき係数の平均値は、実施形態の移動平均値Φ_{a ve}に限らず、加重平均値などでもよい。

【0170】

さらに、第1実施形態の第1空燃比コントローラ30の適応オブザーバ31は、図4の式(3)～(9)に示す可変ゲイン型の逐次型最小2乗法により、空燃比ばらつき係数のベクトルφ(k)を同定した例であるが、適応オブザーバ31における空燃比ばらつき係数のベクトルφ(k)の同定アルゴリズムは、これに限らないことは言うまでもない。例えば、図21の式(50)～(57)に示すδ修正法を適用した固定ゲイン法により、空燃比ばらつき係数のベクトルφ(k)を同定してもよい。

【0171】

同図の式(50)のφ_{base}は、式(51)のように定義される基準値ベクトル(モデルパラメータ基準値)であり、このベクトルの4つの要素である基準値Φ_{base1}～Φ_{base4}は、排気ガスボリュームESVに応じて、図22に示すテーブルを検索することにより算出される。同図に示すように、4つの基準値Φ_{base1}～Φ_{base4}は、いずれも値1付近の値として設定されている。また、式(50)のdφ(k)は、式(52)のように定義される補正項(

補正成分) であり、式(53)～(57)により算出される。

【0172】

以上の δ 修正法を適用した固定ゲイン法により、空燃比ばらつき係数のベクトル $\phi(k)$ を同定した場合には、逐次型最小2乗法の場合と比べて、演算時間を短縮でき、ECU2における演算負荷を低減できる。その結果、ECU2の小型化・低コスト化を図ることができる。これに加えて、ベクトル $\phi(k)$ の同定値を、値1の付近に拘束できるので、エンジン3が過渡運転状態などの空燃比の変化が激しい運転状態にあるときでも、気筒間の空燃比のばらつきを表す空燃比ばらつき係数のベクトル $\phi(k)$ を、空燃比の挙動が適切に反映された値として、迅速かつ適切に算出することができ、空燃比制御の安定性を向上させることができる。

【0173】

なお、上記の固定ゲイン法において、図22に示すテーブルが予め準備できない場合には、4つの要素 Φ_{base1} ～ Φ_{base4} をいずれも、値1に設定してもよい。

【0174】

また、図12のステップ2における基本燃料噴射量TIBSの算出手法は、基本燃料噴射量TIBSを、吸入空気量GAIRに応じてテーブルを検索することにより算出した第1実施形態の例に限らず、例えば、吸気管内絶対圧PBAおよびエンジン回転数NEに応じて、マップ検索することにより、基本燃料噴射量TIBSを算出する手法でもよい。

【0175】

次に、本発明の第2実施形態に係る制御装置1について説明する。この制御装置1は、前述した第1実施形態の制御装置1と比べると、図23、24に示すように、第3空燃比コントローラ60を備える点のみが異なっており、それ以外は同様に構成されている。したがって、以下、この第3空燃比コントローラ60(第3燃料量補正手段)を中心に説明するとともに、第1実施形態と同じ構成要素については、同一の参照番号を付し、その説明は適宜、省略する。

【0176】

この制御装置1では、後述するように、第3空燃比コントローラ60により、気筒間の吸入空気量のばらつきを補正するために、吸気量ばらつき補正係数 K_{ICYL_i} およびその学習補正值 $K_{ICYL_LS_i}$ がそれぞれ算出される。そして、基本燃料噴射量 $TIBS$ に、補正目標空燃比 $KCMDM$ 、総補正係数 $KTOTAL$ 、フィードバック補正係数 $KSTR$ 、空燃比ばらつき補正係数 $KOBSV_i$ 、空燃比ばらつき補正係数の学習補正值 $KOBSV_LS_i$ 、吸気量ばらつき補正係数 K_{ICYL_i} および吸気量ばらつき補正係数の学習補正值 $K_{ICYL_LS_i}$ がそれぞれ乗算されることにより、要求燃料噴射量 $TCYL_i$ が気筒毎に算出される。次いで、付着補正部50により、最終燃料噴射量 $TOUT_i$ が、要求燃料噴射量 $TCYL_i$ に基づいて気筒毎に算出される。

【0177】

次に、第3空燃比コントローラ60について説明する。図25に示すように、エアフローセンサ9によりエンジン3への吸入空気量 $GAIR$ を検出した場合、各気筒の吸気挙動に起因して吸気の脈動も検出される。この吸気の脈動は、気筒間に吸入空気量のばらつきが生じた場合には、同図に示すように、不規則なものとなる。すなわち、同図は、4番気筒#4における吸入空気量が他の気筒よりも少ない例を示している。

【0178】

この第3空燃比コントローラ60は、上記のような気筒間の吸入空気量のばらつきを推定し、それに応じて燃料噴射量を補正するためのものであり、適応オブザーバ61、吸気量ばらつき補正係数算出部62、学習補正值算出部63および乗算部64で構成されている。この第3空燃比コントローラ60では、以下に述べるアルゴリズムにより、適応オブザーバ61（模擬値生成手段、推定手段、同定手段、遅延手段）において、吸気量ばらつき係数 Ψ_i が気筒毎に算出され、吸気量ばらつき補正係数算出部62（第1制御手段、第3補正值算出手）において、吸気量ばらつき補正係数 K_{ICYL_i} が気筒毎に算出され、学習補正值算出部63（学習補正值算出手段）において、吸気量ばらつき補正係数の学習補正值 $K_{ICYL_LS_i}$ が気筒毎に算出される。さらに、乗算部64（補正手段）により、吸気量ばらつき補正係数 $K_{ICYL_1} \sim K_{ICYL_4}$ に、学習補正值 K_{ICY}

$L_LS_1 \sim KICYL_LS_4$ がそれぞれ乗算される。すなわち、吸気量ばらつき補正係数 $KICYL_i$ が学習補正值 $KICYL_LS_i$ により補正される。

【0179】

次に、上記適応オブザーバ61のアルゴリズムについて説明する。まず、図26に示すように、エンジン3の吸気系を、4つの模擬値 $GAIROS_1 \sim GAIROS_4$ および4つの吸気量ばらつき係数 $\Psi_1 \sim \Psi_4$ で表される系として見なす。これらの模擬値 $GAIROS_i$ は、吸入空気の吸気開始タイミングおよび吸気挙動を気筒毎に模擬化した値であり、吸気量ばらつき係数 Ψ_i は、気筒間の吸入空気量のばらつきおよび吸気挙動の変動分を表す値である。この系を離散時間系モデルとしてモデル化すると、図27に示す式(58)が得られる。同式(58)において、 d' は、吸気管4内を流れる空気がエアフローセンサ9から各気筒に到達するまでのむだ時間(所定の遅延時間)を表しており、本実施形態では、所定の一定値に予め設定される。なお、むだ時間 d' をエンジン3の運転状態(エンジン回転数NEなど)に応じて設定してもよい。

【0180】

本実施形態の適応オブザーバ61では、上記式(58)の左辺を吸入空気量の推定値 $GAIREST(k)$ に置き換えた式、すなわち図27の式(59)がモデルとして用いられ、模擬値 $GAIROS_i$ が、後述するように信号発生器61aにより生成されるとともに、式(59)のモデルパラメータとしての吸気量ばらつき係数 Ψ_i のベクトル $\psi(k)$ が、推定値 $GAIREST(k)$ が吸入空気量 $GAI(k-d')$ に一致するように、図27の式(60)～(66)に示す可変ゲイン型の逐次型最小2乗法アルゴリズムにより、同定される。

【0181】

同式(60)における $KR(k)$ はゲイン係数のベクトルを、 $i de'(k)$ は同定誤差をそれぞれ表している。また、式(61)における $\psi(k)^T$ は、 $\psi(k)$ の転置行列を表している。式(60)の同定誤差 $i de'(k)$ は、図27の式(62)～(64)により算出され、この式(63)の $\xi'(k)$ は、式(64)のように定義される模擬値のベクトルである。さらに、上記ゲイン係数のベクトル $KR(k)$ は、図27の式(65)により算出され、この式(65)

のR (k) は、図27の式(66)で定義される4次の正方行列である。

【0182】

以上のように、この適応オブザーバ61では、上記式(60)～(66)に示す逐次型最小2乗法アルゴリズムにより、吸気量ばらつき係数 Ψ_i のベクトル ψ (k)が同定される。それにより、エンジン3の運転状態が急変することなどに伴う吸気挙動のノイズ的な変動成分を、吸気量ばらつき係数 Ψ_i から除去(フィルタリング)することができ、吸気量ばらつき係数 Ψ_i を、気筒間の吸入空気量のばらつきを実質的に示す値として算出することができる。

【0183】

以上の適応オブザーバ61の構成は、前述した第1空燃比コントローラ30の適応オブザーバ31と同様に、図28のブロック図に示すものとなる。すなわち、同図に示すように、この適応オブザーバ61では、信号発生器61aにより、模擬値GAIROS_iのベクトル ξ' (k)が生成される。より具体的には、この信号発生器61aでは、図29に示すように、模擬値GAIROS_iは、互いの和が常に値1になるように、三角波や台形波などを交互に組み合わせたような信号値として生成される。さらに、乗算器61bにおいて、この模擬値のベクトル ξ' (k)に、吸気量ばらつき係数のベクトル ψ (k-1)を乗算した値として、吸入空気量の推定値GAIREST(k)が生成される。そして、差分器61dにより、吸入空気量GAIRO(k-d')と推定値GAIREST(k)との偏差として、同定誤差ide'(k)が生成される。

【0184】

また、論理演算器61eにより、模擬値のベクトル ξ' (k)に基づいて、ゲイン係数のベクトルKR(k)が生成され、乗算器61fにおいて、同定誤差ide'(k)とゲイン係数のベクトルKR(k)の積[ide'(k) · KR(k)]が生成される。次に、加算器61gにより、積[ide'(k) · KR(k)]と、遅延された吸気量ばらつき係数のベクトル ψ (k-1)との和として、吸気量ばらつき係数のベクトル ψ (k)が生成される。

【0185】

次に、前記吸気量ばらつき補正係数算出部62における、吸気量ばらつき補正

係数 K_{ICYL_i} （第1入力、第3補正值）を算出するアルゴリズムについて説明する。この吸気量ばらつき補正係数算出部62では、まず、図30の式(67)により、適応オブザーバ61で算出された吸気量ばらつき係数のベクトル $\psi(k)$ 、すなわち4つの吸気量ばらつき係数 $\Psi_1(k) \sim \Psi_4(k)$ に基づき、吸気量ばらつき係数の移動平均値 $\Psi_{ave}(k)$ が算出される。次に、吸気量ばらつき係数 $\Psi_i(k)$ を移動平均値 $\Psi_{ave}(k)$ に収束させるように、吸気量ばらつき補正係数 K_{ICYL_i} をI-PD制御（比例・微分先行型PID制御）アルゴリズムにより気筒毎に算出する。このI-PD制御アルゴリズムは、図30の式(68), (69)に示すものとなる。

【0186】

ここで、第3空燃比コントローラ60による気筒間の吸入空気量のばらつきを補正するための空燃比制御は、第1空燃比コントローラ30による気筒間の空燃比のばらつきを補正するための空燃比制御と互いに干渉し合う可能性があるので、これを回避するために、2つのコントローラ30, 60において、空燃比ばらつき係数 $\Phi_i(k)$ の移動平均値 Φ_{ave} への収束速度と、吸気量ばらつき係数 $\Psi_i(k)$ の移動平均値 $\Psi_{ave}(k)$ への収束速度とを互いに異ならせる必要がある。

【0187】

本実施形態では、上記式(68)のフィードバックゲイン F_I' , G_I' , H_I' は、その絶対値が、前述した式(11)のフィードバックゲイン F_I , G_I , H_I の絶対値よりも大きい値になるように設定される。すなわち、 $0 < |F_I| < |F_I'|$, $0 < |G_I| < |G_I'|$, $0 < |H_I| < |H_I'|$ の関係が成立するように、各フィードバックゲインが設定される。これにより、吸気量ばらつき係数 $\Psi_i(k)$ の移動平均値 $\Psi_{ave}(k)$ への収束速度が、空燃比ばらつき係数 $\Phi_i(k)$ の移動平均値 Φ_{ave} への収束速度よりも速くなるように、空燃比が制御される。これは、エアフローセンサ9の方が、LAFセンサ14よりもS/N比が良いので、各フィードバックゲインを上記のような関係に設定することにより、2つのコントローラ30, 60による空燃比制御が互いに干渉し合うのを回避しながら、空燃比制御の安定性を全体として確保できることによ

る。

【0188】

これに加えて、I-PD制御アルゴリズムにより、吸気量ばらつき補正係数 K_{ICYL_i} が、吸気量ばらつき係数 $\Psi_i(k)$ をその移動平均値 $\Psi_{ave}(k)$ に収束させるように、算出されるので、吸気量ばらつき係数 $\Psi_i(k)$ の移動平均値 $\Psi_{ave}(k)$ への収束挙動において、オーバーシュートが発生しないように制御できる。それにより、第3空燃比コントローラ60により、気筒間の空燃比のばらつきを補正するための空燃比制御が実行された場合、この空燃比制御による集合部空燃比の変化によって、第2空燃比コントローラ40による空燃比制御の制御性が低下するのを回避することができる。

【0189】

次に、前記学習補正值算出部63による、吸気量ばらつき補正係数 K_{ICYL_i} の学習補正值 $K_{ICYL_LS_i}$ を算出するアルゴリズムについて説明する。上記吸気量ばらつき補正係数 K_{ICYL_i} は、エンジン3の運転状態の影響を受けやすいものであり、エンジン3の運転状態が変化すると、それに応じて変化する。図31は、エンジン3の運転状態を表す運転状態パラメータとしての排気ガスボリューム $ESV(k)$ と吸気量ばらつき補正係数 $K_{ICYL_i}(k)$ との関係を示している。

【0190】

図31を参照すると、この吸気量ばらつき補正係数 $K_{ICYL_i}(k)$ においても、前述した空燃比ばらつき補正係数 $K_{OBSVi}(k)$ と同様に、吸気量ばらつき補正係数 $K_{ICYL_i}(k)$ を従属変数とし、排気ガスボリューム $ESV(k)$ を独立変数とする1次式により、吸気量ばらつき補正係数 $K_{ICYL_i}(k)$ の近似値すなわち推定値を算出できることが判る。したがって、学習補正值算出部63では、吸気量ばらつき補正係数の学習補正值 $K_{ICYL_LS_i}(k)$ を、図32の式(70)に示す回帰式により算出される推定値として定義するとともに、その回帰係数 $A_{ICYL_LS_i}$ および定数項 $B_{ICYL_LS_i}$ のベクトル(以下「回帰係数ベクトル」という) $\theta_{ICYL_LS_i}(k)$ が、図32の式(71)～(77)に示す逐次型最小2乗法により算出される。

【0191】

この式（71）において、 $KU_i(k)$ はゲイン係数のベクトルを、 $E_i c_i(k)$ は誤差をそれぞれ表している。また、この誤差 $E_i c_i(k)$ は、図32の式（73）により算出される。さらに、上記ゲイン係数のベクトル $KU_i(k)$ は、図32の式（76）により算出され、この式（76）の $U_i(k)$ は、図32の式（77）で定義される2次の正方行列である。

【0192】

また、学習補正值 $KICYL_LS_i(k)$ は、具体的には、図32の式（78）により算出される。なお、後述するように、エンジン3が極端な運転状態または運転環境にあるときには、以上の逐次型最小2乗法による回帰係数 $AICYL_LS_i$ および定数項 $BICYL_LS_i$ の算出は回避され、その回帰係数ベクトルの前回値 $\theta I C Y L _ L S _ i (k - 1)$ が、学習補正值 $K I C Y L _ L S _ i (k)$ の算出において、今回値 $\theta I C Y L _ L S _ i (k)$ として使用される。

【0193】

以上の式（71）～（78）に示すアルゴリズムにより、学習補正值算出部63では、学習補正值 $KICYL_LS_i(k)$ が、これと吸気量ばらつき補正係数 $KICYL_i(k)$ との積に収束するように算出される。

【0194】

なお、図25に示すように、吸気管内絶対圧センサ11で吸気管内絶対圧 PBA を検出した場合でも、吸気の脈動を検出することができるので、以上の式（58）～（78）において、「GAI R」で表されるパラメータを「PBA」で表されるパラメータに置き換えたアルゴリズムと、吸気管内絶対圧センサ11で検出された吸気管内絶対圧 PBA とを用いることにより、気筒間の吸入空気量のばらつきを補正するための空燃比コントローラを構成することができる。

【0195】

以下、第2実施形態における空燃比制御処理について、図33～図36を参照しながら説明する。図33は、この制御処理のメインルーチンを示しており、本処理は、TDC信号の入力に同期して割り込み実行される。同図に示すように、本処理は、ステップ111～113以外の各ステップは、第1実施形態の図12

のステップ1～13と同様であるので、ここでは、ステップ111～113を中心的に説明する。

【0196】

すなわち、ステップ110で、空燃比ばらつき補正係数の学習補正值K OBS_V_L Siを算出した後、ステップ111において、後述するように、吸気量ばらつき係数のベクトル ψ を算出する。

【0197】

次いで、ステップ112に進み、吸気量ばらつき補正係数K ICYLiを算出した後、ステップ113に進み、吸気量ばらつき補正係数の学習補正值K ICYL_L Siを算出する。次に、前述したステップ11～13と同様に、ステップ114～116を実行した後、本処理を終了する。

【0198】

次に、図34を参照しながら、上記ステップ111の吸気量ばらつき係数のベクトル ψ の算出処理について説明する。この処理では、前述した図15の空燃比ばらつき係数のベクトル ϕ の算出処理と同様の手法により、吸気量ばらつき係数のベクトル ψ が算出される。すなわち、ステップ120において、RAMに記憶されている、前回のループでの吸気量ばらつき係数のベクトル ψ の算出値を、その前回値RRV ψ [= ψ (k - 1)]として設定する。

【0199】

次いで、ステップ121に進み、模擬値の今回値GAIROSiを算出した後、ステップ122に進み、前記図27の式(64)により、模擬値のベクトル ψ' を算出する。

【0200】

次に、ステップ123に進み、前記図27の式(63)により、吸入空気量の推定値GAIRESiを算出した後、ステップ124に進み、前述した図27の式(62)により、同定誤差ide'を算出する。

【0201】

次いで、ステップ125に進み、RAMに記憶されている、前回のループでの正方行列の次回値NEXR [= R (k + 1)]の算出値を、その今回値Rとして

設定した後、ステップ126に進み、前述した図27の式（65）により、ゲイン係数のベクトルKRを算出する。

【0202】

次に、ステップ127に進み、前述した図27の式（60）により、吸気量ばらつき係数のベクトル ϕ を算出した後、ステップ128に進み、前述した図27の式（66）により、正方行列の次回値NEXR [=R(k+1)]を算出する。

【0203】

次いで、ステップ129に進み、RAMに記憶されている所定個数（本実施形態では12個）の吸入空気量GAIRの時系列データを更新する。具体的には、RAM内の吸入空気量GAIRの各々の値を、1制御サイクル分、古い値としてセットする（例えば、今回値GAIR(k)を前回値GAIR(k-1)として、前回値GAIR(k-1)を前々回値GAIR(k-2)としてそれぞれセットする）。この後、本処理を終了する。

【0204】

次に、図35を参照しながら、前記ステップ112の吸気量ばらつき補正係数KICYL_iの算出処理について説明する。この処理では、前述した図16の空燃比ばらつき補正係数KOBSSV_iの算出処理と同様の手法により、吸気量ばらつき補正係数KICYL_iが算出される。すなわち、まず、ステップ140において、前述した図30の式（67）により、吸気量ばらつき係数の移動平均値 Ψ_{ave} を算出する。

【0205】

次いで、ステップ141に進み、前述した図30の式（69）により、追従誤差 e' を算出した後、ステップ142で、追従誤差の積分値 $\Sigma e'$ を算出する。次に、ステップ143に進み、上記ステップ140, 142で算出した吸気量ばらつき係数の移動平均値 Ψ_{ave} および追従誤差の積分値 $\Sigma e'$ を用い、前述した図30の式（68）により、空燃比ばらつき補正係数KICYL_iを算出した後、本処理を終了する。

【0206】

次に、図36を参照しながら、前記ステップ113の吸気量ばらつき補正係数の学習補正值 $K_{ICYL_LS_i}$ の算出処理について説明する。この処理では、前述した図17の空燃比ばらつき補正係数の学習補正值 $K_{OB SV_LS_i}$ の算出処理と同様の手法により、吸気量ばらつき補正係数の学習補正值 $K_{ICYL_LS_i}$ が算出される。すなわち、まず、ステップ150において、前述した図9の式(13)により、排気ガスボリューム ESV を算出する。

【0207】

次いで、ステップ151に進み、RAMに記憶されている、前回のループでの回帰係数ベクトル $\theta_{ICYL_LS_i}$ の算出値を、その前回値 $PRV\theta_{ICYL_LS_i} [= \theta_{ICYL_LS_i}(k-1)]$ として設定する。

【0208】

次に、ステップ152に進み、前述した図32の式(78)により、学習補正值 $K_{ICYL_LS_i}$ を算出する。この後、ステップ153に進み、下記の5つの条件(a6)～(a10)がいずれも成立しているか否かを判別する。

(a6) エンジン水温 TW が所定の下限値 TW_{ICYL} より高くかつ所定の上限値 TW_{ICYH} よりも低いこと。

(a7) 吸気温 TA が所定の下限値 TA_{ICYL} より高くかつ所定の上限値 TA_{ICYH} よりも低いこと。

(a8) エンジン回転数 NE が所定の下限値 NE_{ICYL} より高くかつ所定の上限値 NE_{ICYH} よりも低いこと。

(a9) 吸気管内絶対圧 PBA が所定の下限値 PB_{ICYL} より高くかつ所定の上限値 PB_{ICYH} よりも低いこと。

(a10) 車速 VP が所定の下限値 VP_{ICYL} より高くかつ所定の上限値 VP_{ICYH} よりも低いこと。

【0209】

以上の5つの条件(a6)～(a10)がいずれも成立しているときには、逐次型最小2乗法により、回帰係数ベクトル $\theta_{ICYL_LS_i}$ を算出すべき運転状態にあるとして、ステップ154に進み、前述した図32の式(75)により、排気ガスボリュームのベクトル Z' を算出する。

【0210】

次に、ステップ155に進み、前述した図32の式(73)により、誤差 E_i
 c_i を算出した後、ステップ156に進み、RAMに記憶されている、前回のル
 プでの正方行列の次回値 $NEXU_i [= U_i (k+1)]$ の算出値を、その今回
 値 U_i として設定する。

【0211】

次いで、ステップ157に進み、前述した図32の式(76)により、ゲイン
 係数のベクトル KU_i を算出した後、ステップ158に進み、前述した図32の
 式(71)により、回帰係数ベクトル $\theta I C Y L_L S_i$ を算出する。次に、ス
 テップ159に進み、前述した図32の式(77)により、正方行列の次回値 N
 $E X U_i [= U_i (k+1)]$ を算出した後、本処理を終了する。

【0212】

一方、前記ステップ153の判別結果がNOで、前記5つの条件(a6)～(a10)の少なくとも1つが成立していないときには、ステップ160に進み、
 前記ステップ151で設定した回帰係数ベクトルの前回値 $PRV\theta I C Y L_L$
 S_i を、今回値 $\theta I C Y L_L S_i$ に設定した後、本処理を終了する。これにより
 、例えば次回のループでのステップ151の処理において、回帰係数ベクトルの
 前回値 $PRV\theta I C Y L_L S_i$ として、今回のループでステップ154～15
 9の逐次型最小2乗法により算出された値が用いられる。

【0213】

以上のように、第2実施形態の制御装置1によれば、第1空燃比コントローラ
 30により、空燃比ばらつき補正係数 $K O B S V_i$ および学習補正值 $K O B S V$
 $_L S_i$ が算出され、第2空燃比コントローラ40により、フィードバック補正
 係数 $K S T R$ が算出される。さらに、第3空燃比コントローラ60により、吸氣
 量ばらつき係数 Ψ_i が算出され、これが移動平均値 Ψ_{ave} に収束するように、
 吸氣量ばらつき補正係数 $K I C Y L_i$ が算出され、その学習補正值 $K I C Y L$
 $_L S_i$ が算出される。そして、算出されたフィードバック補正係数 $K S T R$ 、空
 燃比ばらつき補正係数 $K O B S V_i$ 、学習補正值 $K O B S V_L S_i$ 、吸氣量ばら
 つき補正係数 $K I C Y L_i$ および学習補正值 $K I C Y L_L S_i$ によって、基本燃

料噴射量 T_{IBS} が補正されることにより、最終燃料噴射量 T_{OUT_i} が気筒毎に算出される。

【0214】

この第3空燃比コントローラ60の適応オブザーバ61では、吸入空気量 GAI_R の推定値 GAI_R_EST が、これと、模擬値 $GAI_R_OS_i$ および吸気量ばらつき係数 Ψ_i とにより定義されるモデル [式(59)] を用いることによって推定され、さらに、この推定値 GAI_R_EST が吸入空気量 GAI_R に一致するように、モデルパラメータとしての吸気量ばらつき係数 Ψ_i が逐次型最小2乗法により同定される。これにより、エンジン3の運転状態が急変することなどに伴う吸気挙動のノイズ的な変動成分を、吸気量ばらつき係数 Ψ_i から除去(フィルタリング)することができ、吸気量ばらつき係数 Ψ_i を、気筒間の空燃比のばらつきを実質的に示す値として算出することができる。したがって、そのような吸気量ばらつき係数 Ψ_i に基づいて算出された吸気量ばらつき補正係数 $KICYL_i$ により、基本燃料噴射量 T_{IBS} が気筒毎に補正されるので、エアフローセンサ9の応答ばらつきおよび経年変化などによって、制御対象の動特性が変化したときでも、制御対象の動特性の変化をモデルに反映させながら、気筒間の吸入空気量のばらつきを補正するように、最終燃料噴射量 T_{OUT_i} を気筒毎に算出することができる。その結果、本実施形態のように、複雑な排気レイアウトを有するエンジン3の空燃比を制御する場合でも、第1実施形態の制御装置1よりも、さらに安定余裕が大きく、ロバスト性の高い空燃比制御を実現することができ、より良好な触媒浄化率を確保することができる。

【0215】

また、第3空燃比コントローラ60では、吸気量ばらつき補正係数 $KICYL_i$ が I-PD 制御アルゴリズムにより算出されるので、吸気量ばらつき係数 Ψ_i の移動平均値 Ψ_{ave} への収束挙動において、オーバーシュートが発生しないように、吸気量ばらつき補正係数 $KICYL_i$ を算出することができる。これより、各気筒の吸入空気量の挙動が振動的になるのを回避しながら、気筒間の吸入空気量のばらつきを補正できる。これに加えて、I-PD 制御アルゴリズムにおいて、吸気量ばらつき係数 Ψ_i の移動平均値 Ψ_{ave} への収束速度が、空燃比ばらつ

き係数 Φ_i の移動平均値 Φ_{ave} への収束速度よりも速くなるように、各フィードバックゲイン F_I' , G_I' , H_I' の値が設定されるので、第3空燃比コントローラ60による空燃比制御と、第1空燃比コントローラ30による空燃比制御とが互いに干渉し合うのを回避できる。さらに、吸気量ばらつき補正係数 K_{ICYL_i} が、吸気量ばらつき係数 Ψ_i を移動平均値 Ψ_{ave} に収束させるように算出されるので、第3空燃比コントローラ60による空燃比制御と、第2空燃比コントローラ40による空燃比制御とが互いに干渉し合うのを回避できる。以上により、第3空燃比コントローラ60による空燃比制御、第1空燃比コントローラによる空燃比制御、および第2空燃比コントローラ40による空燃比制御が互いに干渉し合うのを回避しながら、気筒間の吸入空気量のばらつきを補正できる。

【0216】

さらに、第3空燃比コントローラ60では、吸気量ばらつき補正係数 K_{ICYL_i} の学習補正值 $K_{ICYL_LS_i}$ が、排気ガスボリューム ESV を独立変数とする回帰式 [式 (78)] により算出されるとともに、この回帰式の回帰係数 $A_{ICYL_LS_i}$ および定数項 $B_{ICYL_LS_i}$ のベクトルである回帰係数ベクトル $\theta_{ICYL_LS_i}$ が、逐次型最小2乗法により算出されるので、エンジン3が過渡運転状態などの急激に変化する運転状態にあることで、その影響により気筒間の吸入空気量のばらつき状態が急激に変化するときでも、学習補正值 $K_{ICYL_LS_i}$ を気筒間の吸入空気量のばらつき状態が適切に反映された値として算出することができる。その結果、エンジン3が過渡運転状態にあるときでも、気筒間の吸入空気量のばらつきを補償しながら、空燃比を適切に制御することができる。

【0217】

また、吸気量ばらつき係数 Ψ_i および回帰係数ベクトル $\theta_{ICYL_LS_i}$ が、逐次型最小2乗法により算出されるので、統計アルゴリズムとして一般的な最小2乗法を用いる場合と異なり、空燃比制御の開始時でも、吸気量ばらつき補正係数 K_{ICYL_i} および学習補正值 $K_{ICYL_LS_i}$ を、制御サイクル毎に算出することができる。したがって、例えば、 K_{ICYL_i} , $K_{ICYL_LS_i}$ の初期値を予め設定しておくことにより、空燃比制御の開始時、制御サイクル毎に算出

された吸気量ばらつき補正係数 K_{ICYL_i} と学習補正值 $K_{ICYL_LS_i}$ の積により常に補正された値として、最終燃料噴射量 T_{OUT_i} を算出することができ、空燃比制御の開始時における制御性を向上させることができる。それにより、空燃比制御の開始時における触媒浄化率をさらに向上させることができる。

【0218】

なお、第3空燃比コントローラによる空燃比制御では、吸入空気量 $GAIR$ の特性として、その絶対値の変動量が、検出空燃比 $KACT$ と比べて非常に大きくなる場合があり、その場合には、前述した適応オブザーバ61において、式(60)～(66)の同定アルゴリズムにより同定される吸気量ばらつき係数のベクトル $\psi(k)$ の同定値の変動量が非常に大きくなることで、制御系が不安定になるおそれがある。これを回避するには、図37に示すように、適応オブザーバ61を構成すればよい。すなわち、適応オブザーバ61において、図38に示すハイパスフィルタ①、②、および図39に示すバンドパスフィルタ①～③のいずれか1つからなるフィルタ61j(フィルタ手段)を設け、このフィルタ61jにより吸入空気量 $GAIR(k)$ をフィルタリングしたフィルタ値 $GAIR_F(k)$ を用いて、空燃比制御を実行すればよい。

【0219】

このフィルタ61jは、図40の式(79)で表される。同式(79)において、 m^* 、 n^* は、所定の整数を表す。また、このような適応オブザーバ61における吸気量ばらつき係数のベクトル $\psi(k)$ の同定アルゴリズムは、図40の式(80)～(86)に示すものとなる。以上のように構成することにより、吸入空気量 $GAIR(k)$ の変動が大きいような運転状態のときでも、吸気量ばらつき係数のベクトル $\psi(k)$ の同定に必要な情報を確保しながら、吸入空気量 $GAIR(k)$ の変動幅が抑制された値として、フィルタ値 $GAIR_F(k)$ を生成できる。したがって、どのようなフィルタ値 $GAIR_F(k)$ に応じて、吸気量ばらつき係数のベクトル $\psi(k)$ を同定することにより、同定遅れを抑制でき、その同定精度を高めることができ、空燃比制御の安定性と速応性をより一層向上させることができる。

【0220】

また、第2実施形態は、学習補正值 K_{ICYL_i} の算出に用いる回帰式として1次式を用いた例であるが、回帰式はこれに限らず、n次式（nは2以上の整数）でもよい。そのようにした場合でも、n次式の回帰係数および定数項を逐次型最小2乗法で算出することにより、第2実施形態と同様の作用効果を得ることができる。さらに、回帰式の回帰係数および定数項として、複数の運転領域毎に予め設定された所定値を用いることにより、学習補正值 K_{ICYL_i} を算出してもよい。このようにすれば、学習補正值 K_{ICYL_i} の演算時間を短縮することができ、ECU2の演算負荷を低減することができる。

【0221】

さらに、吸気量ばらつき係数 Ψ_i をその移動平均値 Ψ_{ave} に収束させるための制御アルゴリズムは、第2実施形態のI-PD制御アルゴリズムに限らず、他の制御アルゴリズムを用いてもよいことは言うまでもない。例えば、I-PD制御アルゴリズムに代えて、図41の式(87)、(88)に示すIP-D制御アルゴリズム、または図41の式(89)～(91)に示す応答指定型制御アルゴリズムを用いることにより、吸気量ばらつき補正係数 K_{ICYL_i} を算出してもよい。これらの制御アルゴリズムを用いた場合でも、実施形態のI-PD制御アルゴリズムを用いた場合と同様に、吸気量ばらつき係数 Ψ_i の移動平均値 Ψ_{ave} への収束挙動において、オーバーシュートが発生しないように、吸気量ばらつき補正係数 K_{ICYL_i} を算出することができ、その結果、気筒間の吸入空気量のばらつきを迅速かつ適切に補正できる。

【0222】

また、以上のように、吸気量ばらつき補正係数 K_{ICYL_i} の算出において、IP-D制御アルゴリズムまたは応答指定型制御アルゴリズムを用いた場合にも、吸気量ばらつき係数 $\Psi_i(k)$ の移動平均値 Ψ_{ave} への収束速度が、空燃比ばらつき係数 $\Phi_i(k)$ の移動平均値 Φ_{ave} への収束速度よりも速くなるよう、各フィードバックゲインや切換関数設定パラメータの値を設定することにより、前述したように、第3空燃比コントローラ60による空燃比制御と、第1空燃比コントローラ30による空燃比制御とが互いに干渉し合うのを回避することができる。これに加えて、各フィードバックゲインを、最適レギュレータ理論ま

たは H_∞ 制御理論に基づいて決定してもよい。このようにすれば、吸気量ばらつき係数 Ψ_i の移動平均値 Ψ_{ave} への収束挙動において、オーバーシュートの発生をより効果的に抑制でき、その結果、気筒間の吸入空気量のはらつき補正の精度をさらに向上させることができる。

【0223】

さらに、吸気量ばらつき係数 Ψ_i が移動平均値 Ψ_{ave} に収束するまでの整定時間が長くてもよい場合には、前述した P I D 制御アルゴリズムにより、吸気量ばらつき補正係数 $KICYL_i$ を算出してもよい。また、吸気量ばらつき係数 Ψ_i を収束させる目標値としての吸気量ばらつき係数の平均値は、第 2 実施形態の移動平均値 Ψ_{ave} に限らず、加重平均値などでもよい。

【0224】

また、第 2 実施形態の第 3 空燃比コントローラ 60 の適応オブザーバ 61 は、図 27 の式 (60) ~ (66) に示す可変ゲイン型の逐次型最小 2 乗法により、吸気量ばらつき係数のベクトル $\psi(k)$ を同定した例であるが、適応オブザーバ 61 における吸気量ばらつき係数のベクトル $\psi(k)$ の同定アルゴリズムとして、例えば、図 42 の式 (92) ~ (99) に示す δ 修正法を適用した固定ゲイン法により、吸気量ばらつき係数のベクトル $\psi(k)$ を同定してもよい。

【0225】

同図の式 (92) において、 ψ_{base} は、式 (93) のように定義される基準値ベクトル（基準値）であり、このベクトルの 4 つの要素である基準値 $\Psi_{base1} \sim \Psi_{base4}$ は、排気ガスボリューム ESV に応じて、図 43 に示すテーブルを検索することにより算出される。また、式 (92) の $d\psi(k)$ は、式 (52) のように定義される補正項（補正成分）であり、式 (94) ~ (99) により算出される。

【0226】

以上の δ 修正法を適用した固定ゲイン法により、吸気量ばらつき係数のベクトル $\psi(k)$ を同定した場合には、逐次型最小 2 乗法の場合と比べて、演算時間を短縮でき、ECU 2 における演算負荷を低減できる。その結果、ECU 2 の小型化・低コスト化を図ることができる。これに加えて、ベクトル $\psi(k)$ の同定値

を、値 1 の付近に拘束できるので、エンジン 3 が過渡運転状態などの空燃比の変化が激しい運転状態にあるときでも、気筒間の吸入空気量のばらつきを表す吸気量ばらつき係数のベクトル ψ (k) を、空燃比の挙動が適切に反映された値として、迅速かつ適切に算出することができ、空燃比制御の安定性を向上させることができる。

【0227】

また、以上の各実施形態は、本発明の制御装置を車両用のエンジン 3 の空燃比を制御する制御装置に適用した例であるが、本発明の制御装置は、これに限らず、船舶用の内燃機関や、他の産業機器にも適用可能であることは言うまでもない。

【0228】

【発明の効果】

以上のように、本発明の制御装置によれば、安定余裕が大きく、ロバスト性の高い制御を実現できる。また、複数の気筒を有する内燃機関の空燃比を制御する場合には、内燃機関が複雑な排気系レイアウトを有するときでも、気筒間の空燃比または吸入空気量のばらつきを適切かつ迅速に補正することができ、それにより、空燃比を精度良く制御できる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の第 1 実施形態に係る制御装置およびこれを適用した内燃機関の概略構成を示す図である。

【図 2】

第 1 実施形態の制御装置のブロック図である。

【図 3】

第 1 空燃比コントローラの適応オブザーバにおける空燃比ばらつき係数 ψ の算出アルゴリズムを説明するための模式図である。

【図 4】

適応オブザーバにおける空燃比ばらつき係数 ψ の算出アルゴリズムの数式を示す図である。

【図5】

適応オブザーバの構成を示すブロック図である。

【図6】

適応オブザーバの信号発生器から出力される模擬値KACT_O_Sを示す図である。

【図7】

空燃比ばらつき補正係数KOB_SVの算出に用いるI-PD制御アルゴリズムの数式を示す図である。

【図8】

(a) 排気ガスボリュームESVと空燃比ばらつき補正係数KOB_SVの関係を示す図と (b) 排気ガスボリュームESVと、空燃比ばらつき補正係数KOB_SVおよび学習補正值KOB_SV_L_Sとの関係を示す図である。

【図9】

空燃比ばらつき補正係数の学習補正值KOB_SV_L_Sの算出アルゴリズムの数式を示す図である。

【図10】

第2空燃比コントローラにおけるフィードバック補正係数KSTRの算出アルゴリズムを説明するための数式を示す図である。

【図11】

第2空燃比コントローラにおけるフィードバック補正係数KSTRの算出アルゴリズムの数式を示す図である。

【図12】

空燃比制御処理を示すフローチャートである。

【図13】

図12のステップ6におけるモデルパラメータベクトル θ の算出処理を示すフローチャートである。

【図14】

図12のステップ7におけるKSTR算出処理を示すフローチャートである。

【図15】

図12のステップ8における空燃比ばらつき係数のベクトル ϕ の算出処理を示すフローチャートである。

【図16】

図12のステップ9における空燃比ばらつき補正係数K_{OBSV_i}の算出処理を示すフローチャートである。

【図17】

図12のステップ10における空燃比ばらつき補正係数の学習補正值K_{OBSV_LSi}の算出処理を示すフローチャートである。

【図18】

第1実施形態の制御装置による空燃比制御の動作例を示すタイミングチャートである。

【図19】

空燃比制御の動作の比較例を示すタイミングチャートである。

【図20】

PID制御アルゴリズム、IP-D制御アルゴリズムおよび応答指定型制御アルゴリズムによる空燃比ばらつき補正係数K_{OBSV_i}の算出式を示す図である。

【図21】

δ 修正法を適用した固定ゲイン法による空燃比ばらつき係数のベクトル ϕ の同定アルゴリズムを示す図である。

【図22】

Φ_{base_i} の算出に用いるテーブルの一例を示す図である。

【図23】

本発明の第2実施形態に係る制御装置における第3空燃比コントローラを中心とする構成を示すブロック図である。

【図24】

第2実施形態の制御装置における第1および第2空燃比コントローラを中心とする構成を示すブロック図である。

【図25】

エアフローセンサにより検出される吸気の脈動を示す図である。

【図26】

第3空燃比コントローラの適応オブザーバにおける吸気量ばらつき係数 Ψ の算出アルゴリズムを説明するための模式図である。

【図27】

適応オブザーバにおける吸気量ばらつき係数 Ψ の算出アルゴリズムの数式を示す図である。

【図28】

適応オブザーバの構成を示すブロック図である。

【図29】

適応オブザーバの信号発生器から出力される模擬値G A I R_O Sを示す図である。

【図30】

吸気量ばらつき補正係数K I C Y Lの算出に用いるI-PD制御アルゴリズムの数式を示す図である。

【図31】

排気ガスボリュームE S Vと、吸気量ばらつき補正係数K I C Y Lおよび学習補正值K I C Y L_L Sとの関係を示す図である。

【図32】

吸気量ばらつき補正係数の学習補正值K I C Y L_L Sの算出アルゴリズムの数式を示す図である。

【図33】

第2実施形態に係る制御装置により実行される空燃比制御処理を示すフローチャートである。

【図34】

図34のステップ111における吸気量ばらつき係数のベクトル Ψ の算出処理を示すフローチャートである。

【図35】

図34のステップ112における吸気量ばらつき補正係数K I C Y L_iの算出

処理を示すフローチャートである。

【図36】

図34のステップ113における吸気量ばらつき補正係数の学習補正值 K_{IC}
 YL_LS_i の算出処理を示すフローチャートである。

【図37】

第3空燃比コントローラの適応オブザーバの変形例の構成を示すブロック図である。

【図38】

適応オブザーバの変形例におけるフィルタの一例を示す図である。

【図39】

適応オブザーバの変形例におけるフィルタの他の例を示す図である。

【図40】

適応オブザーバの変形例におけるフィルタを表す数式、および吸気量ばらつき
係数 Ψ の算出アルゴリズムの数式を示す図である。

【図41】

吸気量ばらつき補正係数 $K_{IC}YL_i$ の算出において、IP-D制御アルゴリズムまたは応答指定型制御アルゴリズムを用いた場合の数式を示す図である。

【図42】

δ 修正法を適用した固定ゲイン法による吸気量ばらつき係数のベクトル ψ の同定アルゴリズムを示す図である。

【図43】

Ψ_{base_i} の算出に用いるテーブルの一例を示す図である。

【符号の説明】

- 1 制御装置
- 2 ECU (模擬値生成手段、推定手段、同定手段、第1制御手段、第2制御手段、学習補正值算出手段、補正手段、入力手段、遅延手段、燃料量決定手段、第1補正值算出手段、第1燃料量補正手段、第2補正值算出手段、第2燃料量補正手段、運転状態パラメータ検出手段、第3補正值算出手段、第3燃料量補正手段、第4補正值算出

- 手段、第4燃料量補正手段)
- 3 内燃機関(プラント)
- 4 a 吸気管の主管部(1つの吸気通路)
- 4 c 吸気管の集合部(1つの吸気通路)
- 4 d 吸気管の分岐部(複数の吸気通路)
- 7 c ~ 7 f 排気管の排気管部(複数の排気通路)
- 7 j 排気管の集合部(1つの排気通路)
- 9 エアフローセンサ(検出手段、吸入空気量パラメータ検出手段)
- 1 1 吸気管内絶対圧センサ(検出手段、運転状態パラメータ検出手段、吸入空気量パラメータ検出手段)
- 1 3 クランク角センサ(運転状態パラメータ検出手段)
- 1 4 LAFセンサ(検出手段、空燃比パラメータ検出手段)
- 2 0 基本燃料噴射量算出部(燃料量決定手段)
- 3 0 第1空燃比コントローラ(第1燃料量補正手段)
- 3 1 適応オブザーバ(模擬値生成手段、推定手段、同定手段、遅延手段)
- 3 2 空燃比ばらつき補正係数算出部(第1制御手段、第1補正值算出手段)
- 3 3 学習補正值算出部(学習補正值算出手段)
- 3 4 乗算部(補正手段)
- 4 0 第2空燃比コントローラ(第2制御手段、第2補正值算出手段、第2燃料量補正手段、第4補正值算出手段、第4燃料量補正手段)
- 6 0 第3空燃比コントローラ(第3燃料量補正手段)
- 6 1 適応オブザーバ(模擬値生成手段、推定手段、同定手段、遅延手段)
- 6 1 j フィルタ(フィルタ手段)
- 6 2 吸気量ばらつき補正係数算出部(第1制御手段、第3補正值算出手段)
- 6 3 学習補正值算出部(学習補正值算出手段)

6.4 乗算部（補正手段）

1～# 4 1～4番気筒（複数の気筒）

K A C T 検出空燃比（検出値、空燃比パラメータ）

K A C T_O S_i 4つの模擬値（第1内部変数の挙動を模擬化した複数の模擬値）

K A C T_E S T 検出空燃比の推定値（検出値の推定値、空燃比パラメータの推定値）

 Φ_i 4つの空燃比ばらつき係数（複数のモデルパラメータ） Φ_{ave} 移動平均値（平均値）

e 偏差

 ϕ_{base} 基準値ベクトル（モデルパラメータ基準値） $d\phi$ 補正項ベクトル（補正成分）

K O B S V_i 空燃比ばらつき補正係数（第1入力、第1補正值）

K O B S V_L S_i 空燃比ばらつき補正係数の学習補正值（第1入力の学習値）

A O B S V_L S_i 回帰係数

B O B S V_L S_i 定数項

K C M D 目標空燃比（所定の目標値）

K S T R フィードバック補正係数（第2入力、第2補正值、第4補正值）

E S V 排気ガスボリューム（第2内部変数、運転状態パラメータ）

T O U T_i 最終燃料噴射量（供給される燃料量）

T I B S 基本燃料噴射量（決定される燃料量）

d むだ時間（所定の遅延時間）

G A I R 吸入空気量（検出値、吸入空気量パラメータ）

G A I R_O S_i 4つの模擬値（第1内部変数の挙動を模擬化した複数の模擬値）

G A I R_E S T 吸入空気量の推定値（検出値の推定値、吸入空気量パラ

メータの推定値)

G A I R_F 吸入空気量のフィルタ値（検出値のフィルタ値）

Ψ_i 4つの吸気量ばらつき係数（複数のモデルパラメータ）

Ψ_{ave} 移動平均値（平均値）

e' 偏差

ψ_{base} 基準値ベクトル（基準値）

$d\psi$ 補正項ベクトル（補正成分）

K I C Y L_i 吸気量ばらつき補正係数（第1入力、第3補正值）

K I C Y L_L S_i 吸気量ばらつき補正係数の学習補正值（第1入力の学習値）

A I C Y L_L S_i 回帰係数

B I C Y L_L S_i 定数項

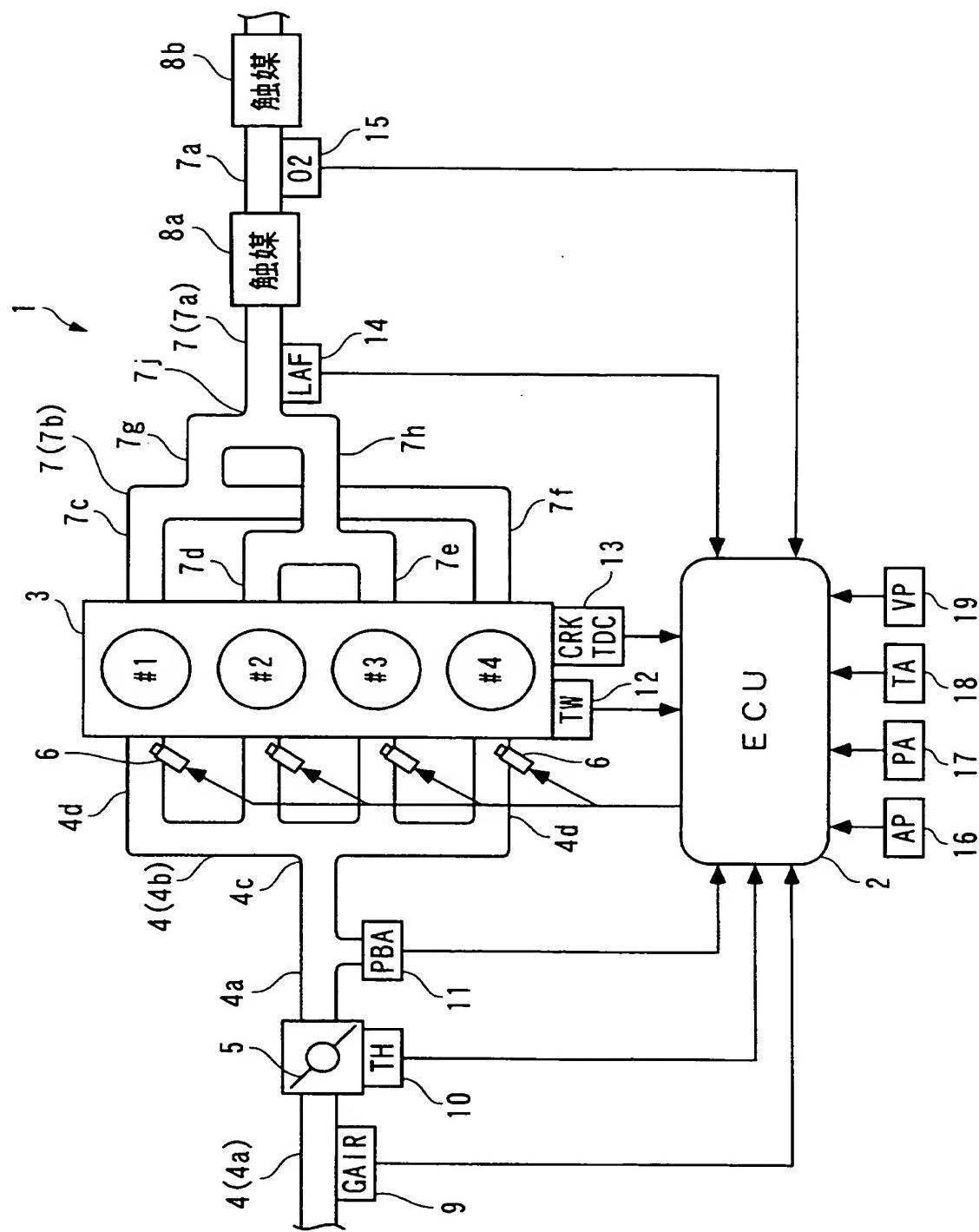
d' むだ時間（所定の遅延時間）

P B A 吸気管内絶対圧（検出値、吸入空気量パラメータ）

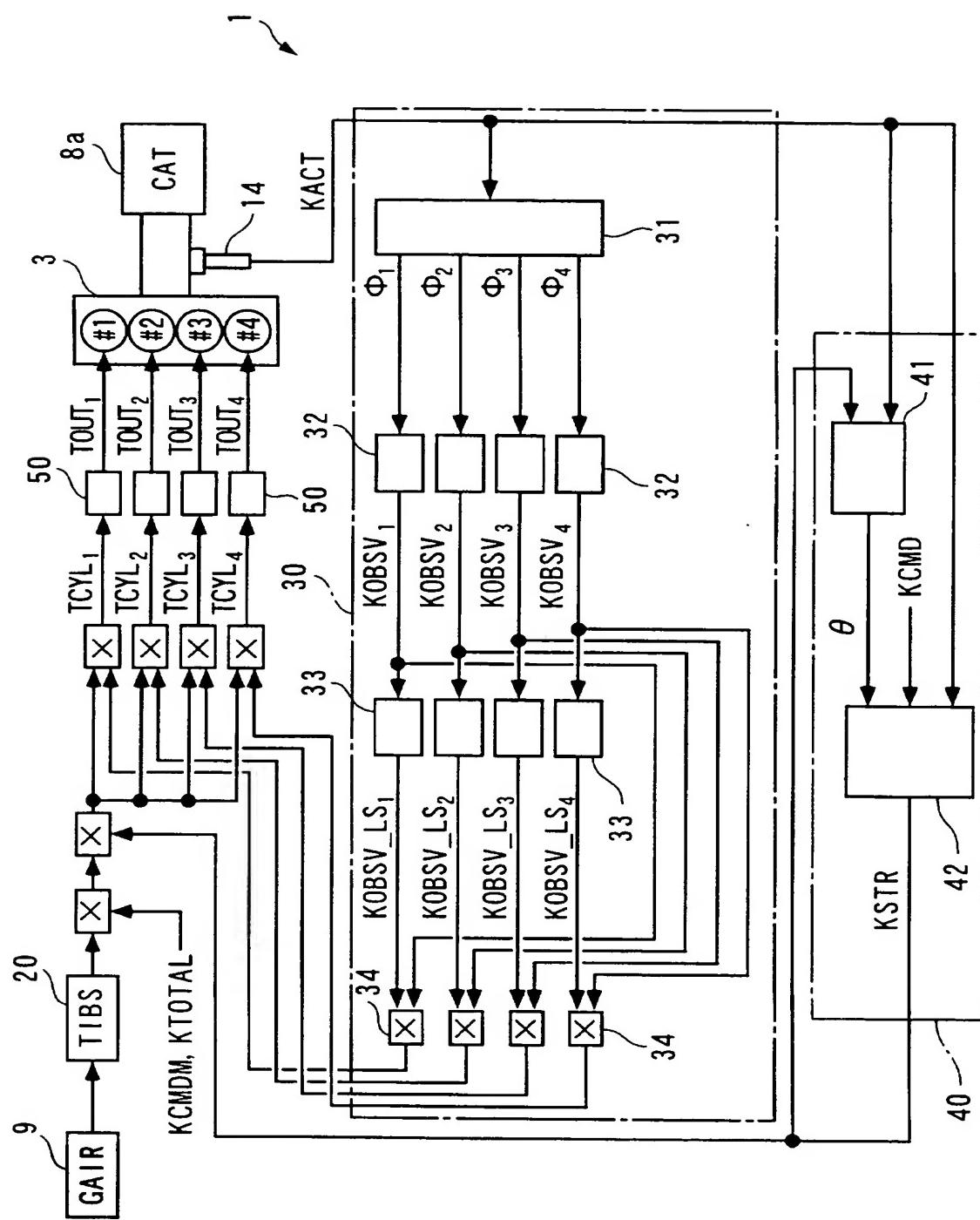
【書類名】

図面

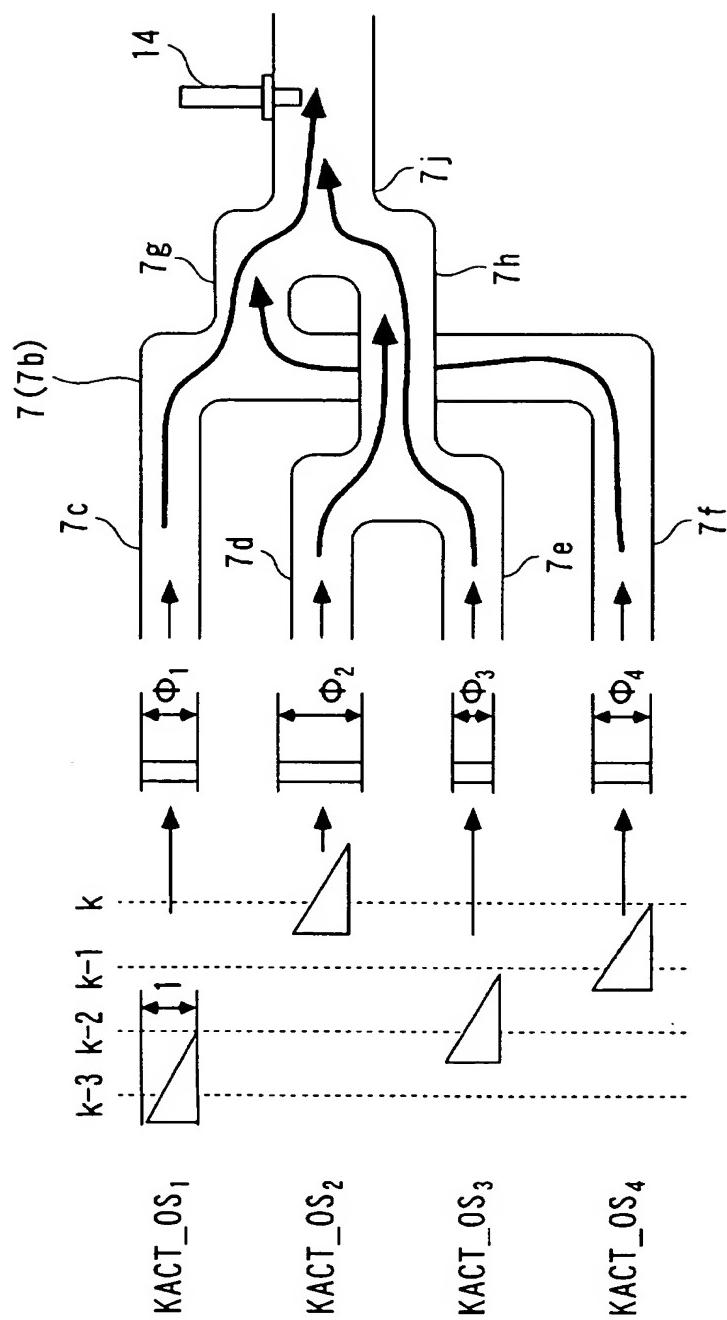
【図1】



【図2】



【図3】



【図4】

$$\begin{aligned} KACT(k) = & \Phi_1(k) \cdot KACT_OS_1(k-d) + \Phi_2(k) \cdot KACT_OS_2(k-d) \\ & + \Phi_3(k) \cdot KACT_OS_3(k-d) + \Phi_4(k) \cdot KACT_OS_4(k-d) \end{aligned} \quad \dots \dots (1)$$

$$\begin{aligned} KACT_EST(k) = & \Phi_1(k) \cdot KACT_OS_1(k-d) + \Phi_2(k) \cdot KACT_OS_2(k-d) \\ & + \Phi_3(k) \cdot KACT_OS_3(k-d) + \Phi_4(k) \cdot KACT_OS_4(k-d) \end{aligned} \quad \dots \dots (2)$$

$$\phi(k) = \phi(k-1) + KP(k) \cdot ide(k) \quad \dots \dots (3)$$

$$\phi(k)^T = [\Phi_1(k), \Phi_2(k), \Phi_3(k), \Phi_4(k)] \quad \dots \dots (4)$$

$$ide(k) = KACT(k) - KACT_EST(k) \quad \dots \dots (5)$$

$$KACT_EST(k) = \phi(k-1)^T \cdot \zeta(k) \quad \dots \dots (6)$$

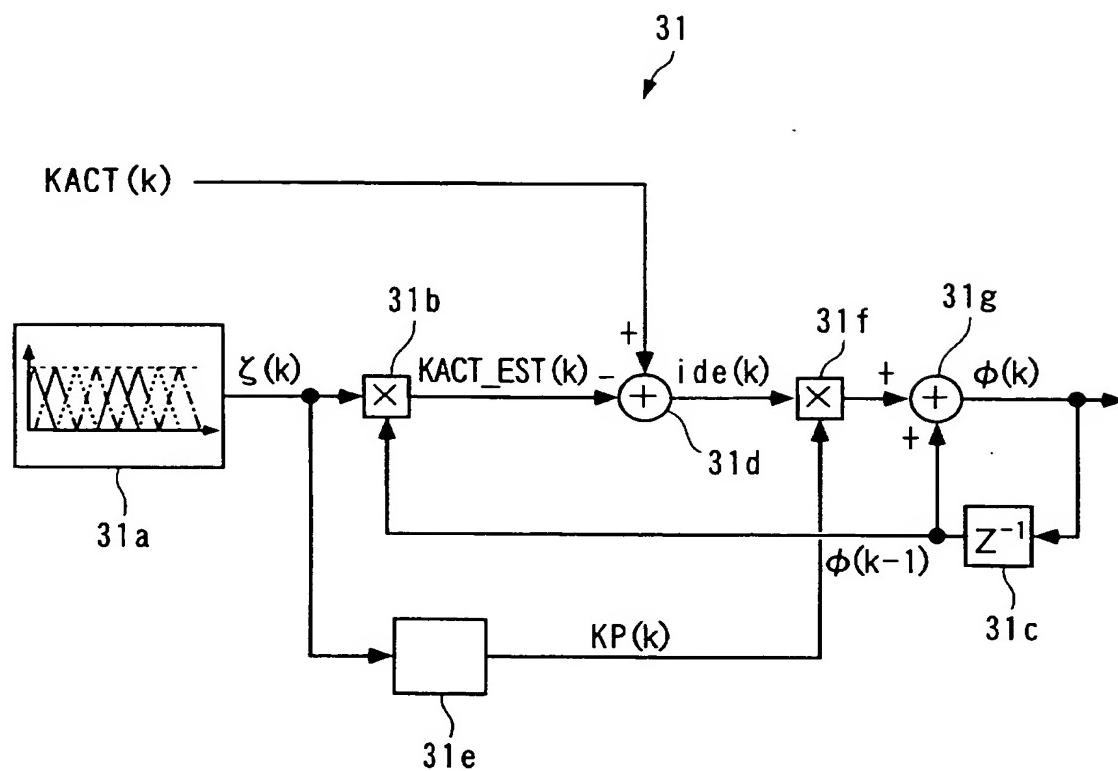
$$\begin{aligned} \zeta(k)^T = & [KACT_OS_1(k-d), KACT_OS_2(k-d), KACT_OS_3(k-d), KACT_OS_4(k-d)] \\ \dots \dots (7) \end{aligned}$$

$$KP(k) = \frac{P(k) \cdot \zeta(k)}{1 + \zeta(k)^T \cdot P(k) \cdot \zeta(k)} \quad \dots \dots (8)$$

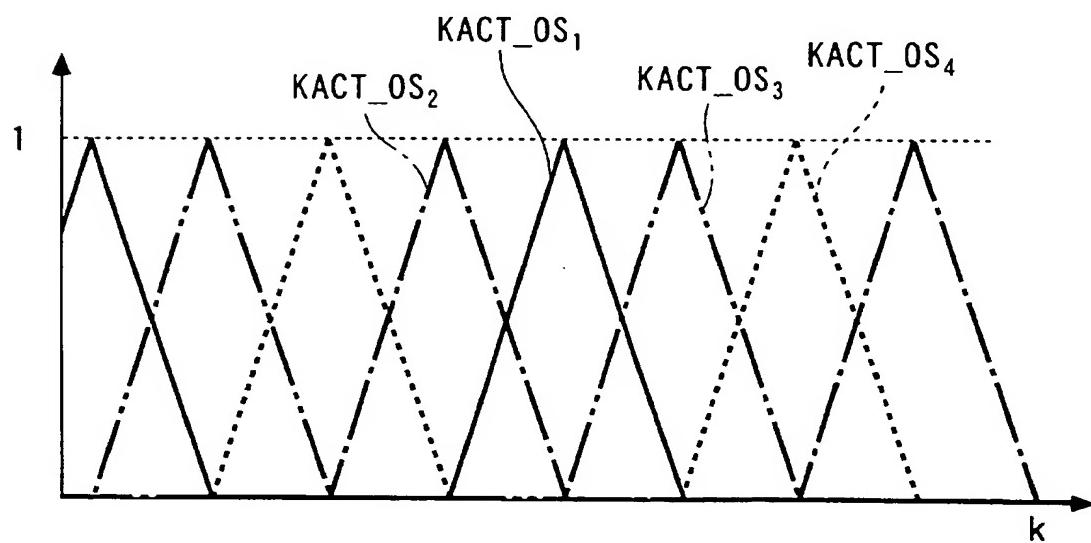
$$P(k+1) = \frac{1}{\lambda_1} \left(I - \frac{\lambda_2 \cdot P(k) \cdot \zeta(k) \cdot \zeta(k)^T}{\lambda_1 + \lambda_2 \cdot \zeta(k)^T \cdot P(k) \cdot \zeta(k)} \right) P(k) \quad \dots \dots (9)$$

I : 単位行列
 λ_1, λ_2 : 重みパラメータ

【図5】



【図6】



【図7】

$$\Phi_{ave}(k) = \frac{1}{4} \cdot \left\{ \Phi_1(k) + \Phi_2(k) + \Phi_3(k) + \Phi_4(k) \right\} \quad \dots \dots (10)$$

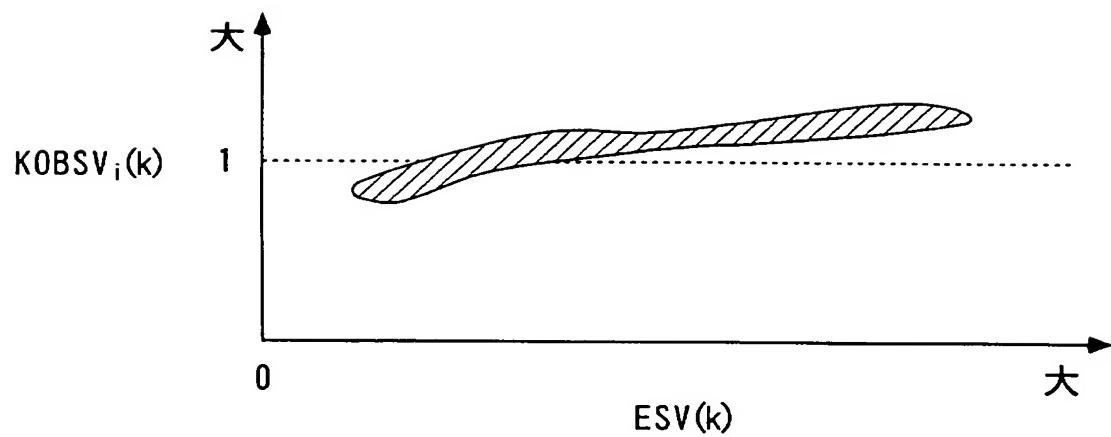
$$KOBSV_i(k) = -GI \cdot \sum_{j=0}^k e(j) - FI \cdot \Phi_i(k) - HI \cdot [\Phi_i(k) - \Phi_i(k-1)] \quad \dots \dots (11)$$

$$e(k) = \Phi_i(k) - \Phi_{ave}(k) \quad \dots \dots (12)$$

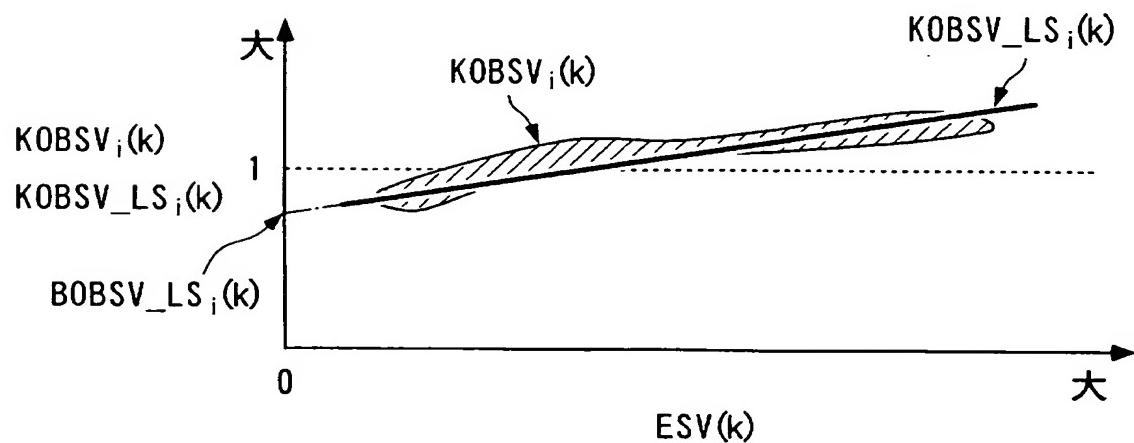
FI, GI, HI : フィードバックゲイン

【図8】

(a)



(b)



【図9】

$$ESV(k) = \frac{NE(k)}{1500} \cdot PBA(k) \cdot SVPRA \quad \dots \dots (13)$$

$$KOBSV_LS_i(k) = A0BSV_LS_i \cdot ESV(k) + B0BSV_LS_i \quad \dots \dots (14)$$

$$\theta0BSV_LS_i(k) = \theta0BSV_LS_i(k-1) + KQ_i(k) \cdot Eov_i(k) \quad \dots \dots (15)$$

$$\theta0BSV_LS_i(k)^T = [A0BSV_LS_i(k), B0BSV_LS_i(k)] \quad \dots \dots (16)$$

$$Eov_i(k) = KOBSV_i(k) \cdot KOBSV_LS_i(k) - \theta0BSV_LS_i(k-1)^T \cdot Z(k) \quad \dots \dots (17)$$

$$KOBSV_LS_i(k) = \theta0BSV_LS_i(k-1)^T \cdot Z(k) \quad \dots \dots (18)$$

$$Z(k)^T = [ESV(k), 1] \quad \dots \dots (19)$$

$$KQ_i(k) = \frac{Q_i(k) \cdot Z(k)}{1 + Z(k)^T \cdot Q_i(k) \cdot Z(k)} \quad \dots \dots (20)$$

$$Q_i(k+1) = \frac{1}{\lambda_1'} \cdot \left(I - \frac{\lambda_2' \cdot Q_i(k) \cdot Z(k)^T \cdot Z(k)}{\lambda_1' + \lambda_2' \cdot Z(k)^T \cdot Q_i(k) \cdot Z(k)} \right) \cdot Q_i(k) \quad \dots \dots (21)$$

I : 単位行列
 λ_1' , λ_2' : 重みパラメータ

$$\begin{aligned} KOBSV_LS_i(k) &= \theta0BSV_LS_i(k-1)^T \cdot Z(k) \\ &= A0BSV_LS_i(k-1) \cdot ESV(k) + B0BSV_LS_i(k-1) \end{aligned} \quad \dots \dots (22)$$

【図 10】

$$\begin{aligned} KACT(n) = & b0(n) \cdot KSTR(n) + r1(n) \cdot KSTR(n-4) + r2(n) \cdot KSTR(n-5) \\ & + r3(n) \cdot KSTR(n-6) + s0(n) \cdot KACT(n-3) \end{aligned} \quad \dots \dots (23)$$

$$\begin{aligned} KSTR(n) = & \frac{1}{b0(n)} \cdot \left\{ KCMD(n) - r1(n) \cdot KSTR(n-1) - r2(n) \cdot KSTR(n-2) \right. \\ & \left. - r3(n) \cdot KSTR(n-3) - s0(n) \cdot KACT(n) \right\} \end{aligned} \quad \dots \dots (24)$$

$$\theta(n) = \theta(n-1) + K\Gamma(n) \cdot \text{ide_st}(n) \quad \dots \dots (25)$$

$$\theta(n)^T = [b0(n), r1(n), r2(n), r3(n), s0(n)] \quad \dots \dots (26)$$

$$\text{ide_st}(n) = KACT(n) - KACT_HAT(n) \quad \dots \dots (27)$$

$$KACT_HAT(n) = \theta(n-1)^T \cdot \xi(n) \quad \dots \dots (28)$$

$$\begin{aligned} \xi(n)^T = & [KSTR(n-3), KSTR(n-4), KSTR(n-5), KSTR(n-6), KACT(n-3)] \\ & \dots \dots (29) \end{aligned}$$

$$K\Gamma(n) = \frac{\Gamma(n) \cdot \xi(n)}{1 + \xi(n)^T \cdot \Gamma(n) \cdot \xi(n)} \quad \dots \dots (30)$$

$$\Gamma(n+1) = \frac{1}{\lambda_{1S}} \left(I - \frac{\lambda_{2S} \cdot \Gamma(n) \cdot \xi(n) \cdot \xi(n)^T}{\lambda_{1S} + \lambda_{2S} \cdot \xi(n)^T \cdot \Gamma(n) \cdot \xi(n)} \right) \Gamma(n) \quad \dots \dots (31)$$

I : 単位行列
 $\lambda_{1S}, \lambda_{2S}$: 重みパラメータ

【図1-1】

$$\theta_{ave}(k) = \frac{1}{m+1} \{ \theta_{buf}(k) + \dots + \theta_{buf}(k-m) \} \quad \dots \dots (3-2)$$

$$\theta_{ave}(k)^T = [b0_{ave}(k), r1_{ave}(k), r2_{ave}(k), r3_{ave}(k), s0_{ave}(k)] \quad \dots \dots (3-3)$$

$$KSTR(k) = \frac{1}{b0_{ave}(k)} \cdot \left\{ KCMD(k) - r1_{ave}(k) \cdot KSTR(k-4) - r2_{ave}(k) \cdot KSTR(k-8) \right. \\ \left. - r3_{ave}(k) \cdot KSTR(k-12) - s0_{ave}(k) \cdot KACT(k) \right\} \quad \dots \dots (3-4)$$

$$\theta(n) = \theta(n-1) + K\Gamma(n) \cdot ide_st(n) \quad \dots \dots (3-5)$$

$$\theta(n)^T = [b0(n), r1(n), r2(n), r3(n), s0(n)] \quad \dots \dots (3-6)$$

$$ide_st(n) = KACT(n) - KACT_HAT(n) \quad \dots \dots (3-7)$$

$$KACT_HAT(n) = \theta(n-1)^T \cdot \xi(n) \quad \dots \dots (3-8)$$

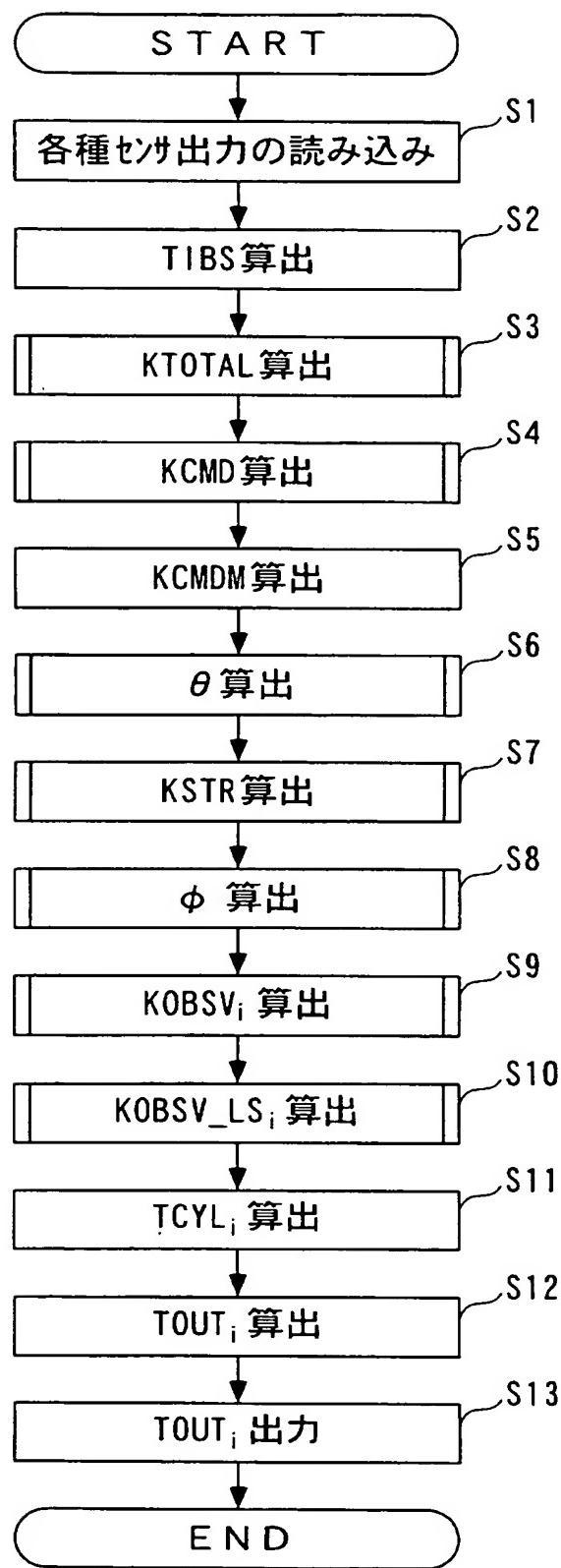
$$\xi(n)^T = [KSTR(n-3), KSTR(n-4), KSTR(n-5), KSTR(n-6), KACT(n-3)] \\ = [KSTR(k-12), KSTR(k-16), KSTR(k-20), KSTR(k-24), KACT(k-12)] \quad \dots \dots (3-9)$$

$$K\Gamma(n) = \frac{\Gamma(n) \cdot \xi(n)}{1 + \xi(n)^T \cdot \Gamma(n) \cdot \xi(n)} \quad \dots \dots (4-0)$$

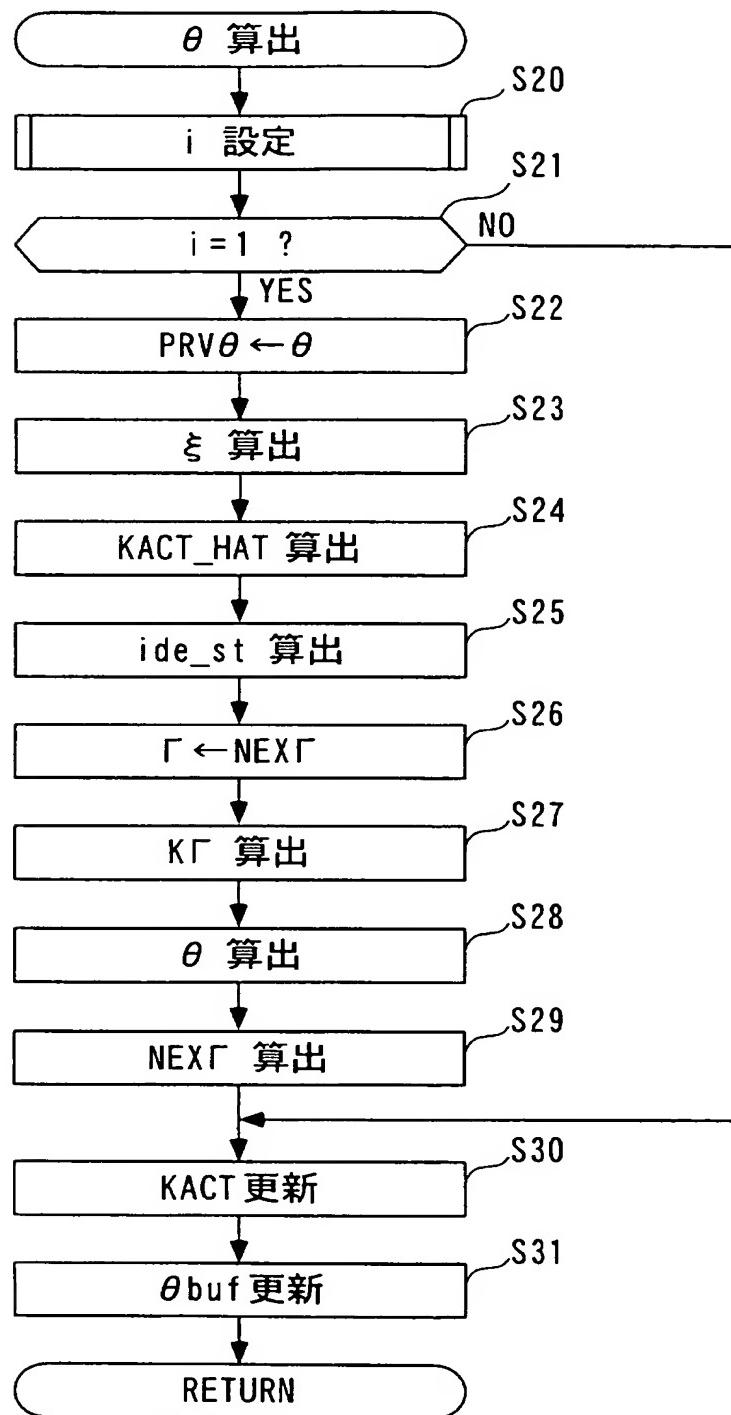
$$\Gamma(n+1) = \frac{1}{\lambda_{1S}} \left(I - \frac{\lambda_{2S} \cdot \Gamma(n) \cdot \xi(n) \cdot \xi(n)^T}{\lambda_{1S} + \lambda_{2S} \cdot \xi(n)^T \cdot \Gamma(n) \cdot \xi(n)} \right) \Gamma(n) \quad \dots \dots (4-1)$$

I : 単位行列
 $\lambda_{1S}, \lambda_{2S}$: 重みパラメータ

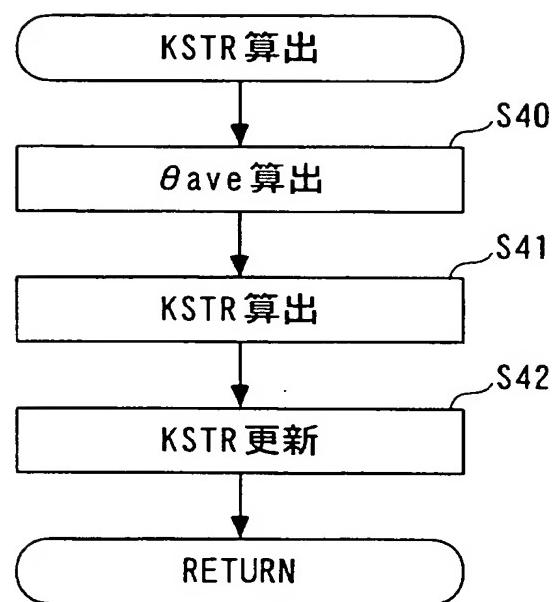
【図12】



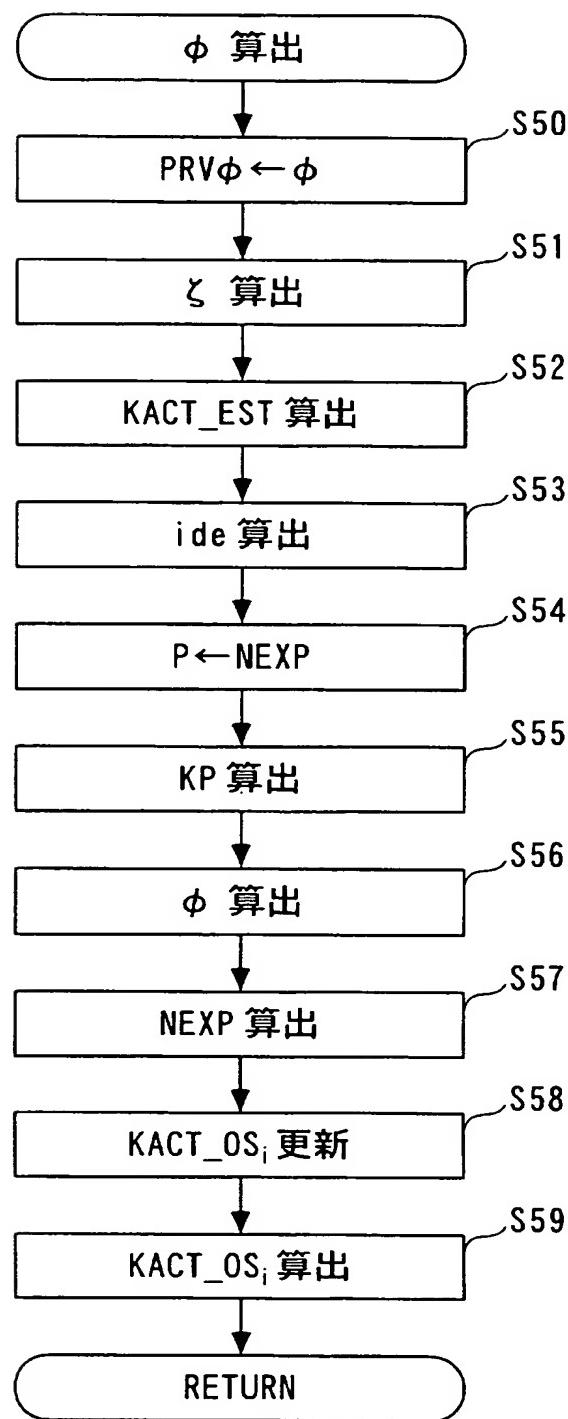
【図13】



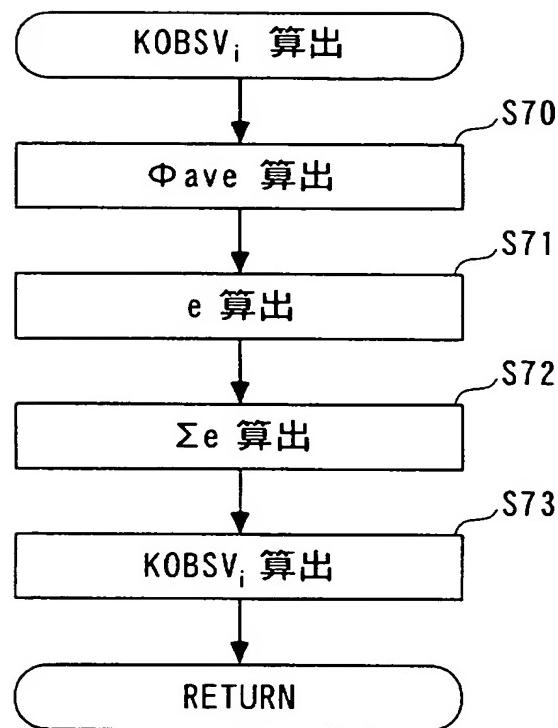
【図14】



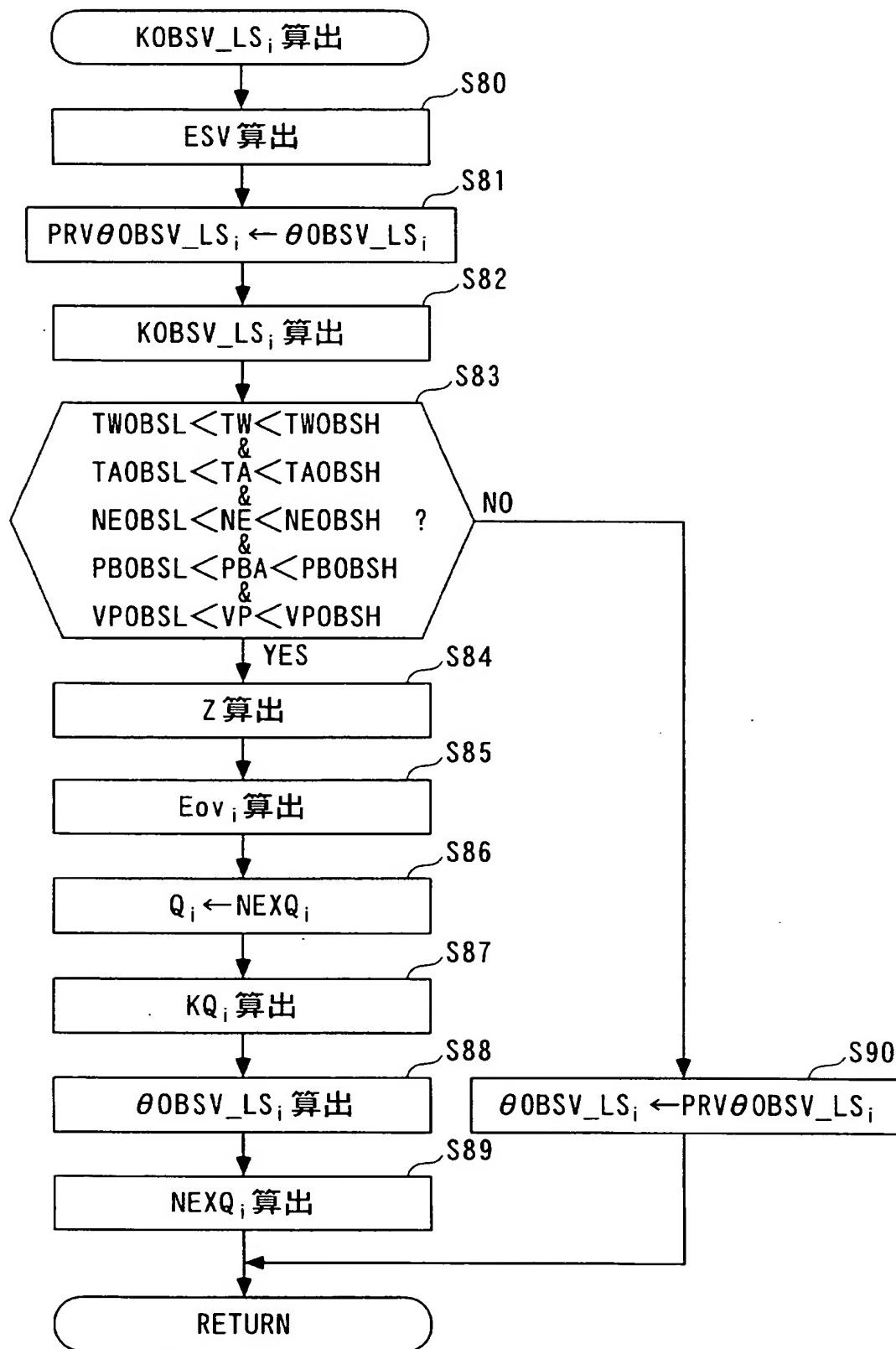
【図15】



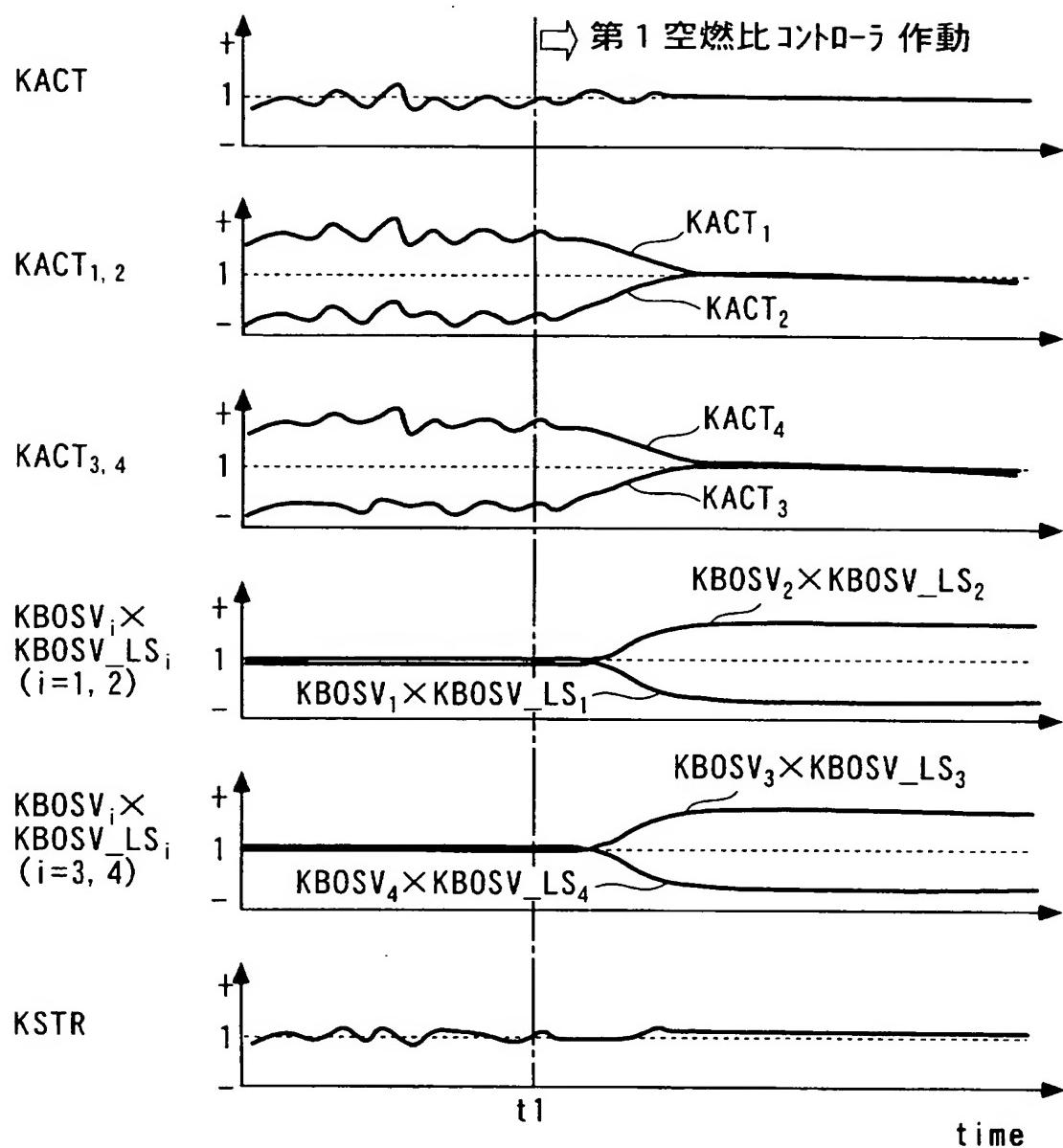
【図16】



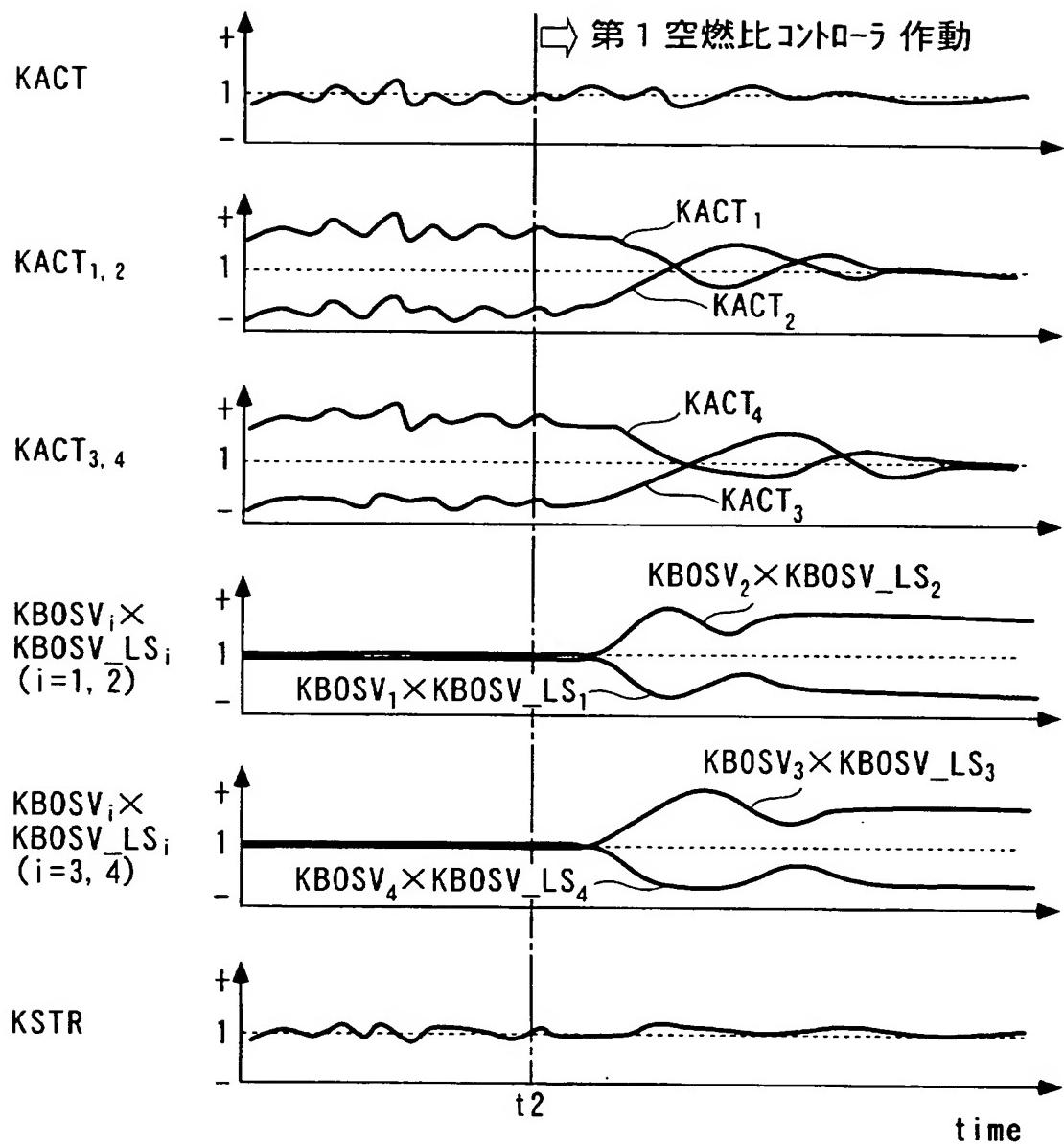
【図17】



【図18】



【図19】



【図20】

PID制御アルゴリズム

$$KOBSV_i(k) = -GP \cdot \sum_{j=0}^k e_i(j) - FP \cdot e_i(k) - HP \cdot [e_i(k) - e_i(k-1)] \quad \dots \dots (43)$$

$$e_i(k) = \Phi_i(k) - \Phi ave(k) \quad \dots \dots (44)$$

FP, GP, HP : フィードバックゲイン

IP-D制御アルゴリズム

$$KOBSV_i(k) = -GD \cdot \sum_{j=0}^k e(j) - FD \cdot e(k) - HD \cdot [\Phi_i(k) - \Phi_i(k-1)] \quad \dots \dots (45)$$

$$e(k) = \Phi_i(k) - \Phi ave(k) \quad \dots \dots (46)$$

FD, GD, HD : フィードバックゲイン

応答指定型制御アルゴリズム

$$KOBSV_i(k) = -FS \cdot \sigma(k) - GS \cdot \sum_{j=0}^k \sigma(j) - HS \cdot e(k) \quad \dots \dots (47)$$

$$e(k) = \Phi_i(k) - \Phi ave(k) \quad \dots \dots (48)$$

$$\sigma(k) = e(k) + S \cdot e(k-1) \quad \dots \dots (49)$$

$\sigma(k)$: 切換関数
 FS, GS, HS : フィードバックゲイン
 S : 切換関数設定パラメータ ($-1 < S < 1$)

【図21】

$$\phi(k) = \phi_{\text{base}} + d\phi(k) \quad \dots \dots (50)$$

$$\phi_{\text{base}}^T = [\Phi_{\text{base}_1}, \Phi_{\text{base}_2}, \Phi_{\text{base}_3}, \Phi_{\text{base}_4}] \quad \dots \dots (51)$$

$$d\phi(k) = \delta \cdot d\phi(k-1) + K_P(k) \cdot i_{de}(k) \quad \dots \dots (52)$$

$$i_{de}(k) = KACT(k) - KACT_EST(k) \quad \dots \dots (53)$$

$$KACT_EST(k) = \phi(k-1)^T \cdot \zeta(k) \quad \dots \dots (54)$$

$$\zeta(k)^T = [KACT_OS_1(k-d), KACT_OS_2(k-d), KACT_OS_3(k-d), KACT_OS_4(k-d)] \quad \dots \dots (55)$$

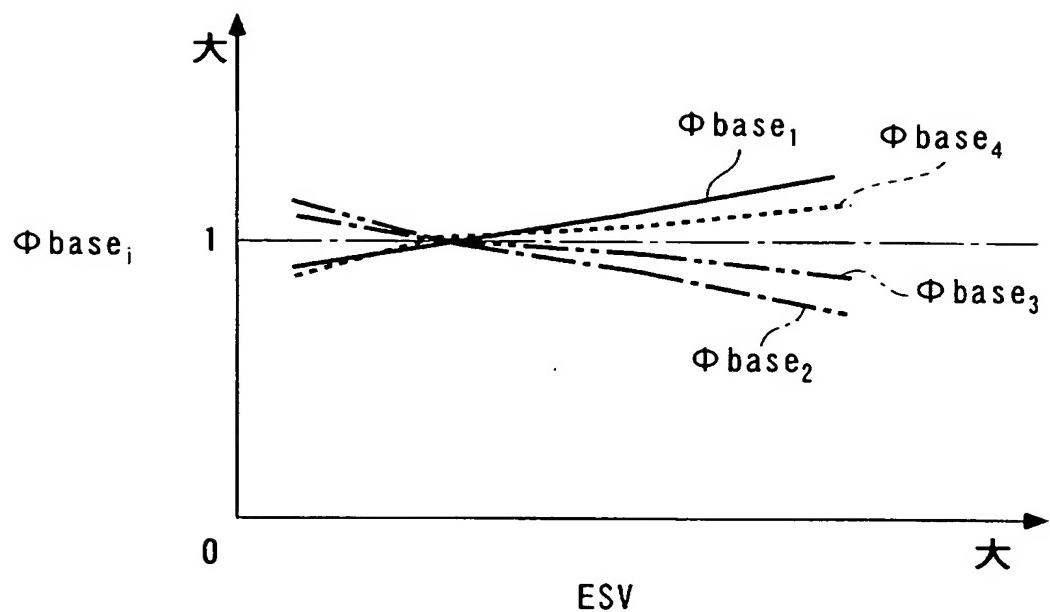
$$K_P(k) = \frac{P_c \cdot \zeta(k)}{1 + \zeta(k)^T \cdot P_c \cdot \zeta(k)} \quad \dots \dots (56)$$

Pc : 同定ゲイン

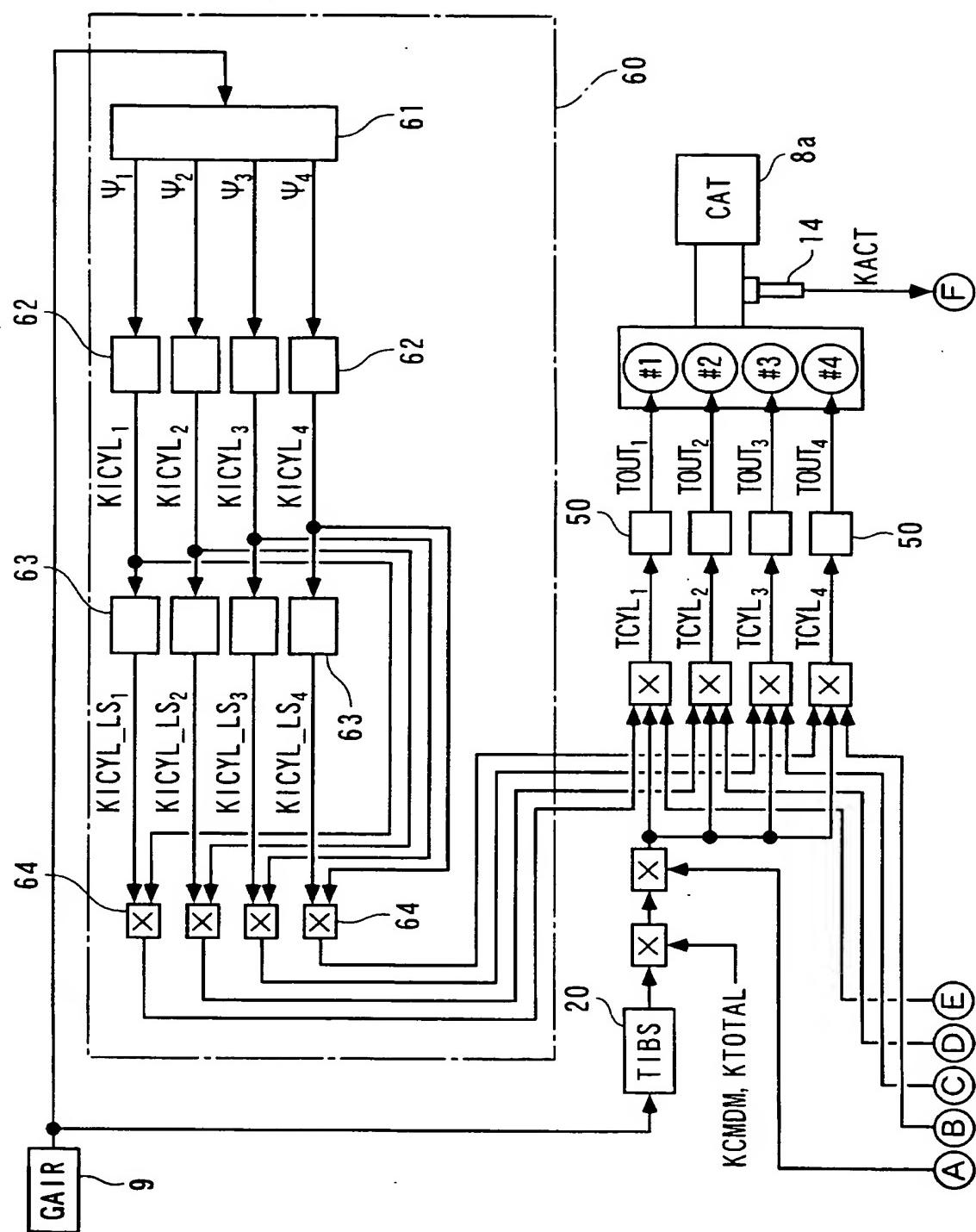
$$\delta = \begin{bmatrix} \delta_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \delta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \delta_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \delta_1 \end{bmatrix} \quad (0 < \delta_1 \leq 1) \quad \dots \dots (57)$$

 δ : 忘却ベクトル

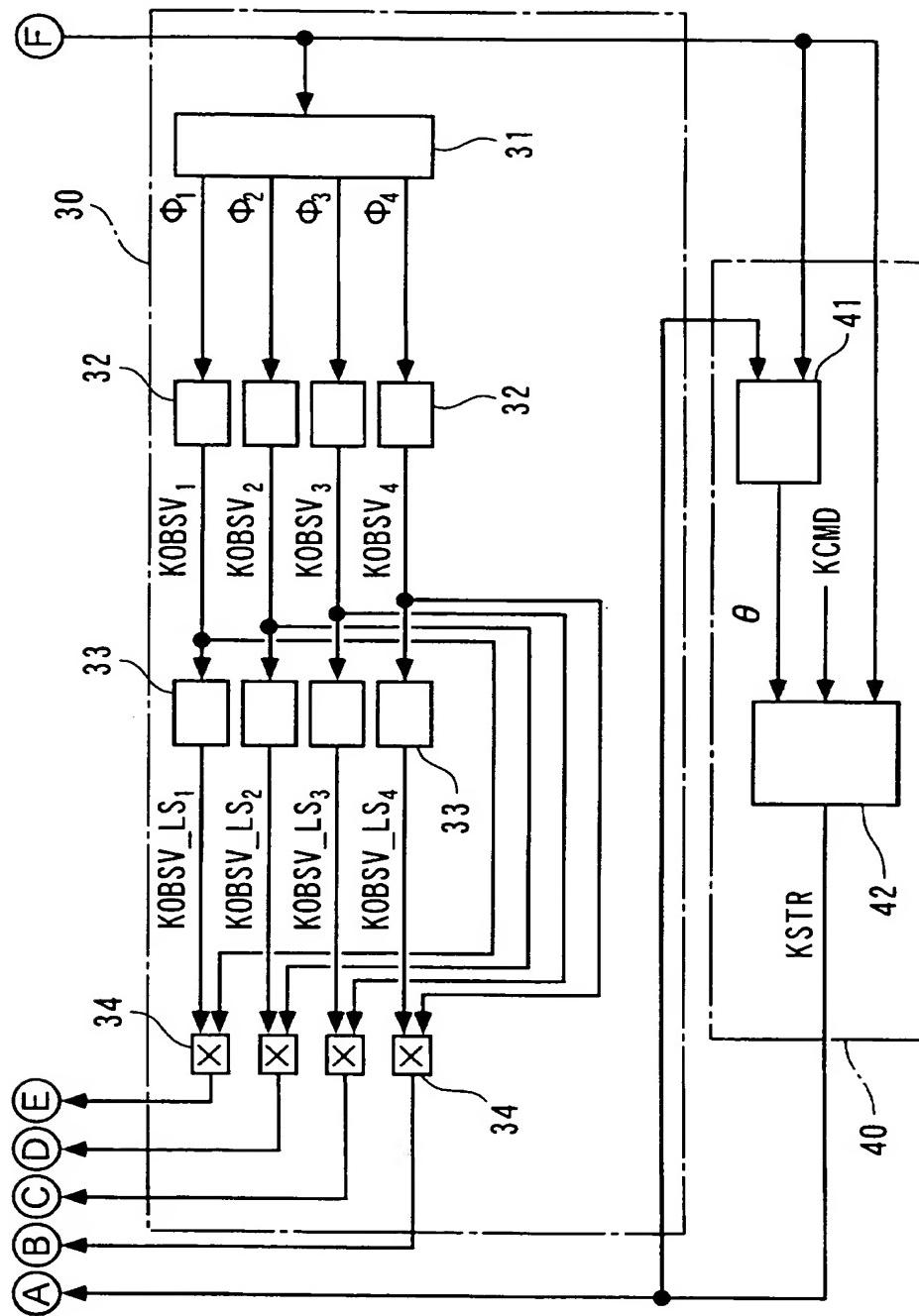
【図22】



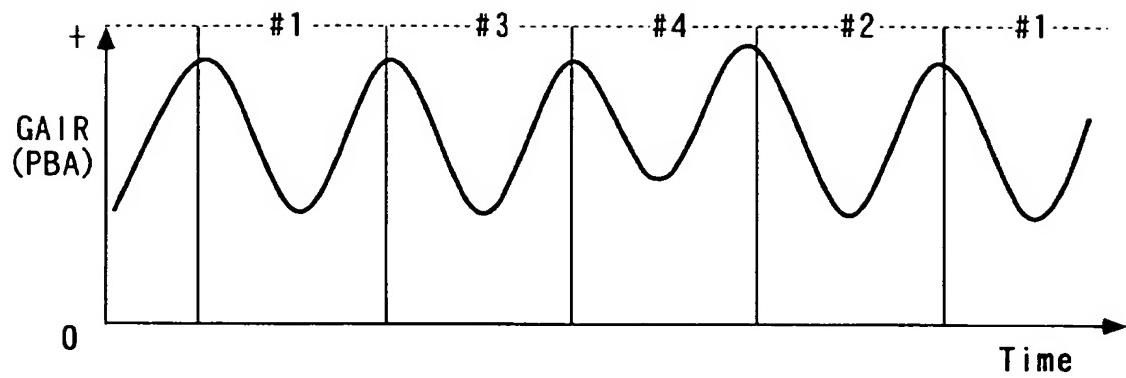
【図23】



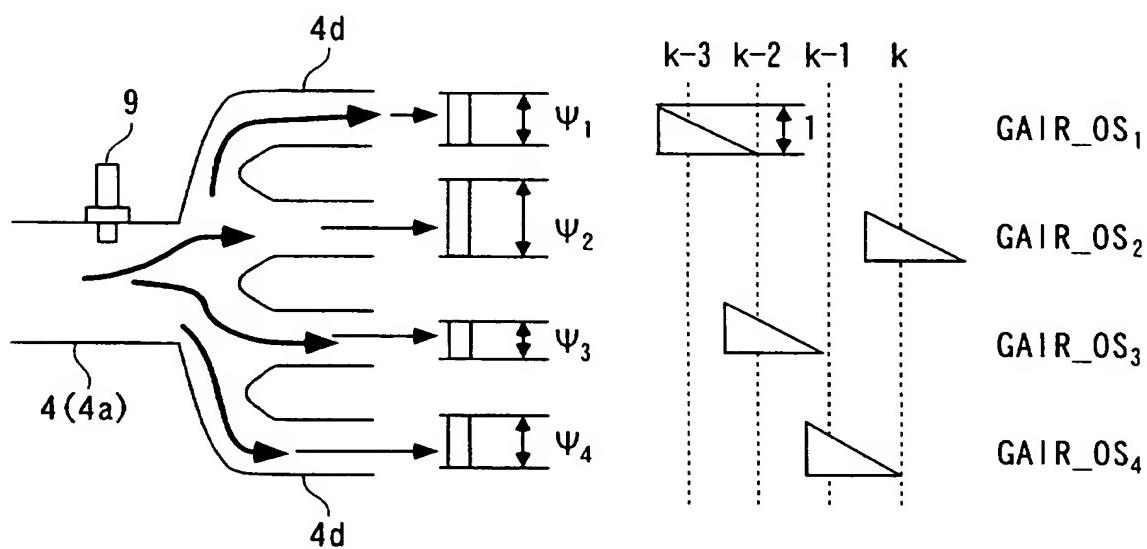
【図24】



【図25】



【図26】



【図 2 7】

$$\begin{aligned} \text{GAIR}(k-d') = & \Psi_1(k) \cdot \text{GAIR_OS}_1(k) + \Psi_2(k) \cdot \text{GAIR_OS}_2(k) \\ & + \Psi_3(k) \cdot \text{GAIR_OS}_3(k) + \Psi_4(k) \cdot \text{GAIR_OS}_4(k) \quad \dots \dots \quad (58) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{GAIR_EST}(k) = & \Psi_1(k) \cdot \text{GAIR_OS}_1(k) + \Psi_2(k) \cdot \text{GAIR_OS}_2(k) \\ & + \Psi_3(k) \cdot \text{GAIR_OS}_3(k) + \Psi_4(k) \cdot \text{GAIR_OS}_4(k) \quad \dots \dots \quad (59) \end{aligned}$$

$$\psi(k) = \psi(k-1) + KR(k) \cdot ide'(k) \quad \dots \dots \quad (60)$$

$$\psi(k)^T = [\Psi_1(k), \Psi_2(k), \Psi_3(k), \Psi_4(k)] \quad \dots \dots \quad (61)$$

$$ide'(k) = \text{GAIR}(k-d') - \text{GAIR_EST}(k) \quad \dots \dots \quad (62)$$

$$\text{GAIR_EST}(k) = \psi(k-1)^T \cdot \zeta'(k) \quad \dots \dots \quad (63)$$

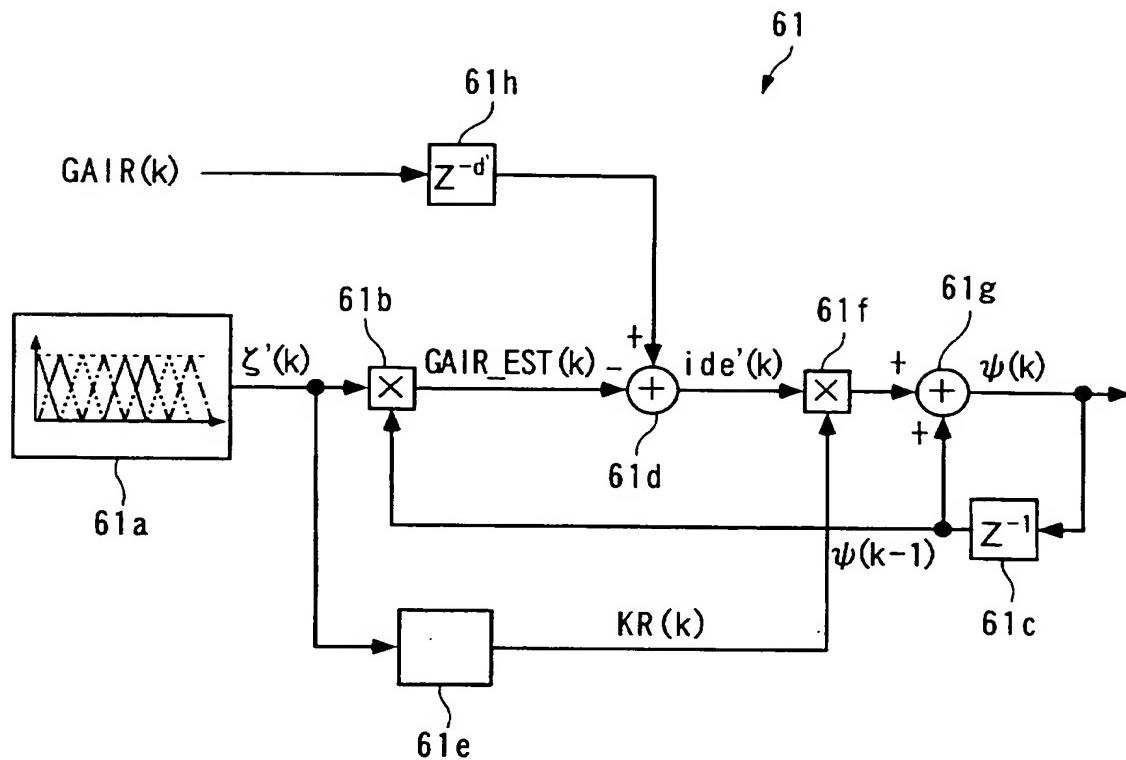
$$\begin{aligned} \zeta'(k)^T = & [\text{GAIR_OS}_1(k), \text{GAIR_OS}_2(k), \text{GAIR_OS}_3(k), \text{GAIR_OS}_4(k)] \\ \dots \dots \quad (64) \end{aligned}$$

$$KR(k) = \frac{R(k) \cdot \zeta'(k)}{1 + \zeta'(k)^T \cdot R(k) \cdot \zeta'(k)} \quad \dots \dots \quad (65)$$

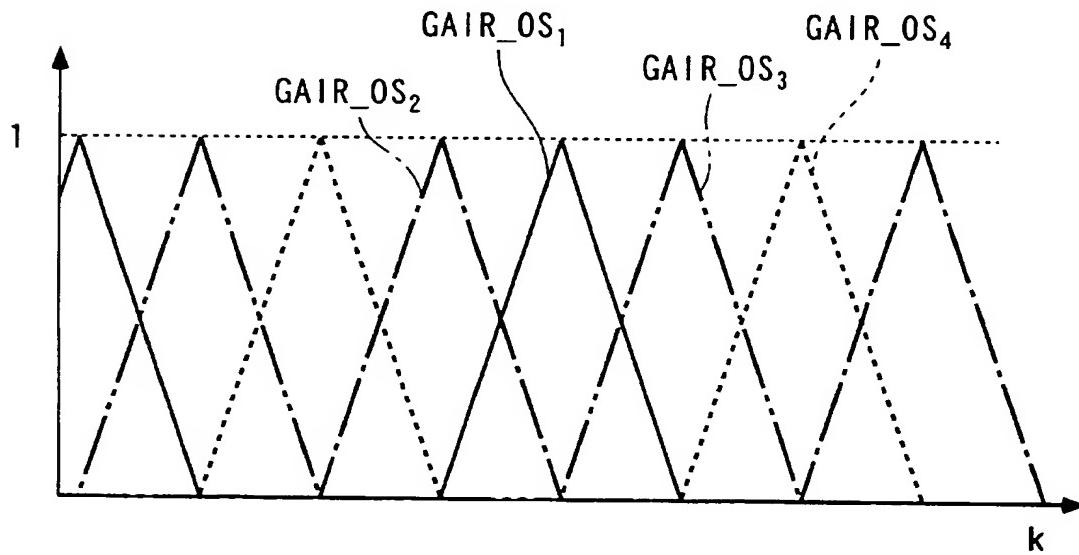
$$R(k+1) = \frac{1}{\lambda_1''} \cdot \left(I - \frac{\lambda_2'' \cdot R(k) \cdot \zeta'(k) \cdot \zeta'(k)^T}{\lambda_1'' + \lambda_2'' \cdot \zeta'(k)^T \cdot R(k) \cdot \zeta'(k)} \right) \cdot R(k) \quad \dots \dots \quad (66)$$

I : 単位行列
 $\lambda_1'', \lambda_2'':$ 重みパラメータ

【図28】



【図29】



【図30】

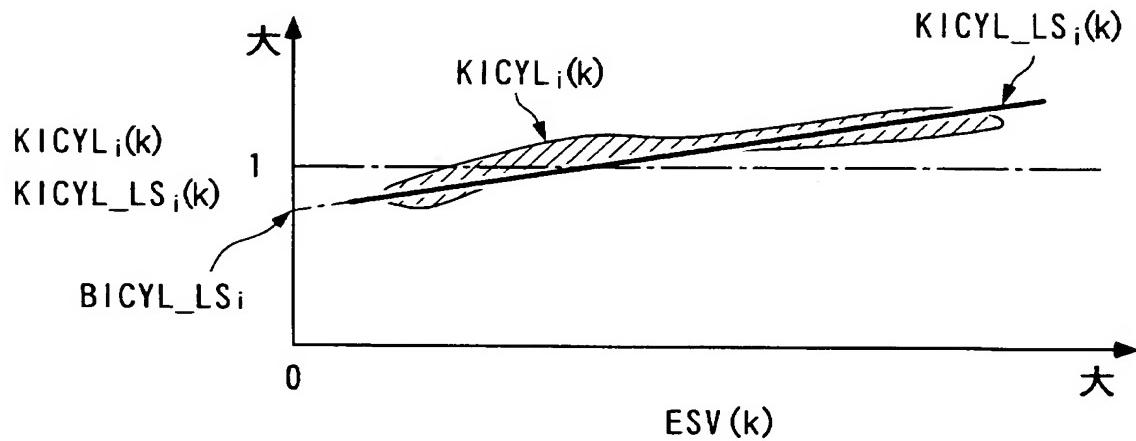
$$\Psi_{ave}(k) = \frac{1}{4} \cdot \left\{ \Psi_1(k) + \Psi_2(k) + \Psi_3(k) + \Psi_4(k) \right\} \quad \dots \dots (67)$$

$$KICYL_i(k) = -GI' \cdot \sum_{j=0}^k e'(j) - FI' \cdot \Psi_i(k) - HI' \cdot [\Psi_i(k) - \Psi_i(k-1)] \quad \dots \dots (68)$$

$$e'(k) = \Psi_i(k) - \Psi_{ave}(k) \quad \dots \dots (69)$$

FI' , GI' , HI' : フィードバックゲイン

【図31】



【図32】

$$KICYL_LS_i = AICYL_LS_i \cdot ESV(k) + BICYL_LS_i \quad \dots \dots (70)$$

$$\theta I CYL_LS_i(k) = \theta I CYL_LS_i(k-1) + KU_i(k) \cdot Eic_i(k) \quad \dots \dots (71)$$

$$\theta I CYL_LS_i(k)^T = [AICYL_LS_i(k), BICYL_LS_i(k)] \quad \dots \dots (72)$$

$$Eic_i(k) = KICYL_i(k) \cdot KICYL_LS_i(k) - \theta I CYL_LS_i(k-1)^T \cdot Z'(k) \quad \dots \dots (73)$$

$$KICYL_LS_i(k) = \theta I CYL_LS_i(k-1)^T \cdot Z'(k) \quad \dots \dots (74)$$

$$Z'(k)^T = [ESV(k), 1] \quad \dots \dots (75)$$

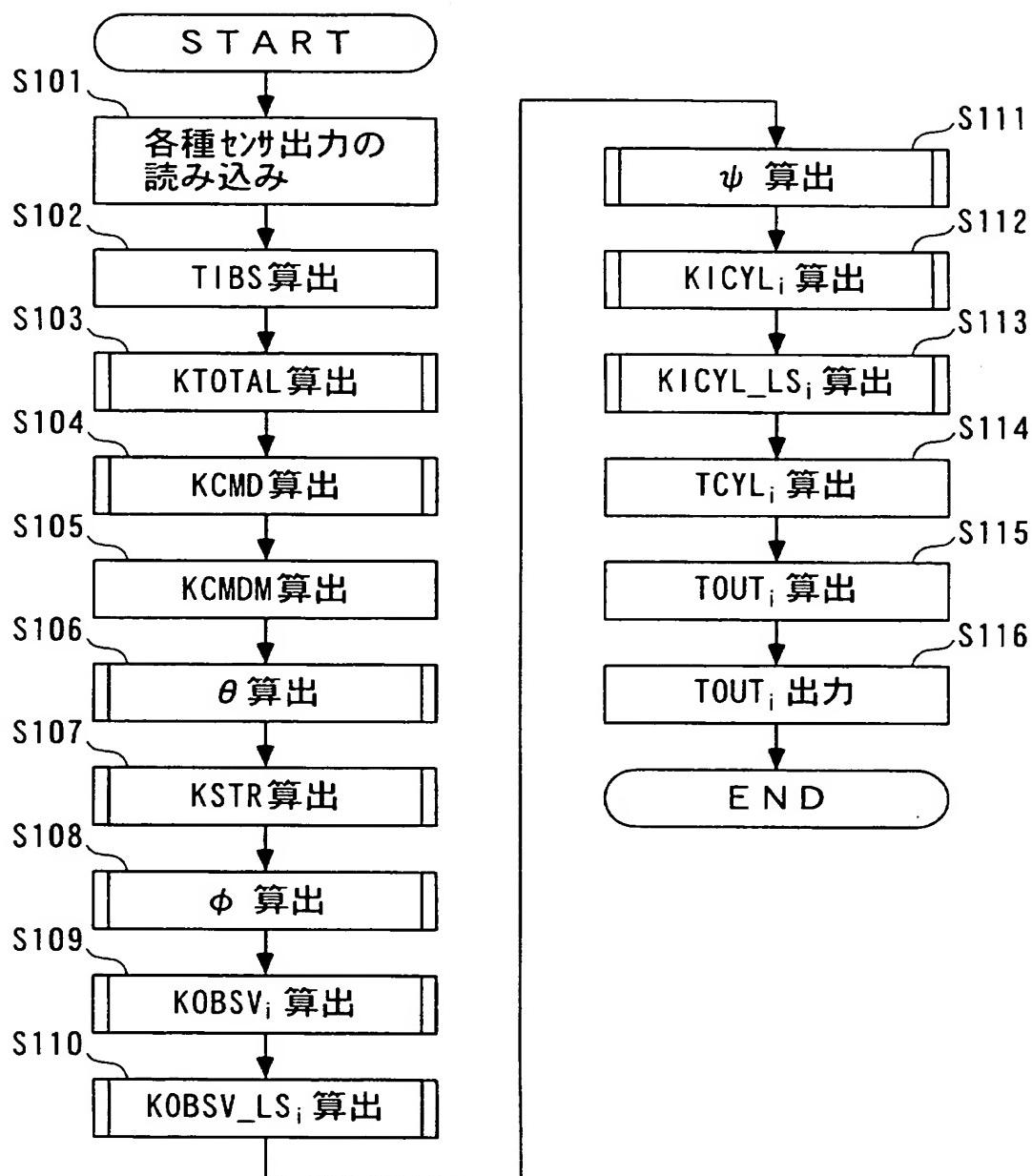
$$KU_i(k) = \frac{U_i(k) \cdot Z'(k)}{1 + Z'(k)^T \cdot U_i(k) \cdot Z'(k)} \quad \dots \dots (76)$$

$$U_i(k+1) = \frac{1}{\lambda_1^*} \cdot \left(I - \frac{\lambda_2^* \cdot U_i(k) \cdot Z'(k)^T \cdot Z'(k)}{\lambda_1^* + \lambda_2^* \cdot Z'(k)^T \cdot U_i(k) \cdot Z'(k)} \right) \cdot U_i(k) \quad \dots \dots (77)$$

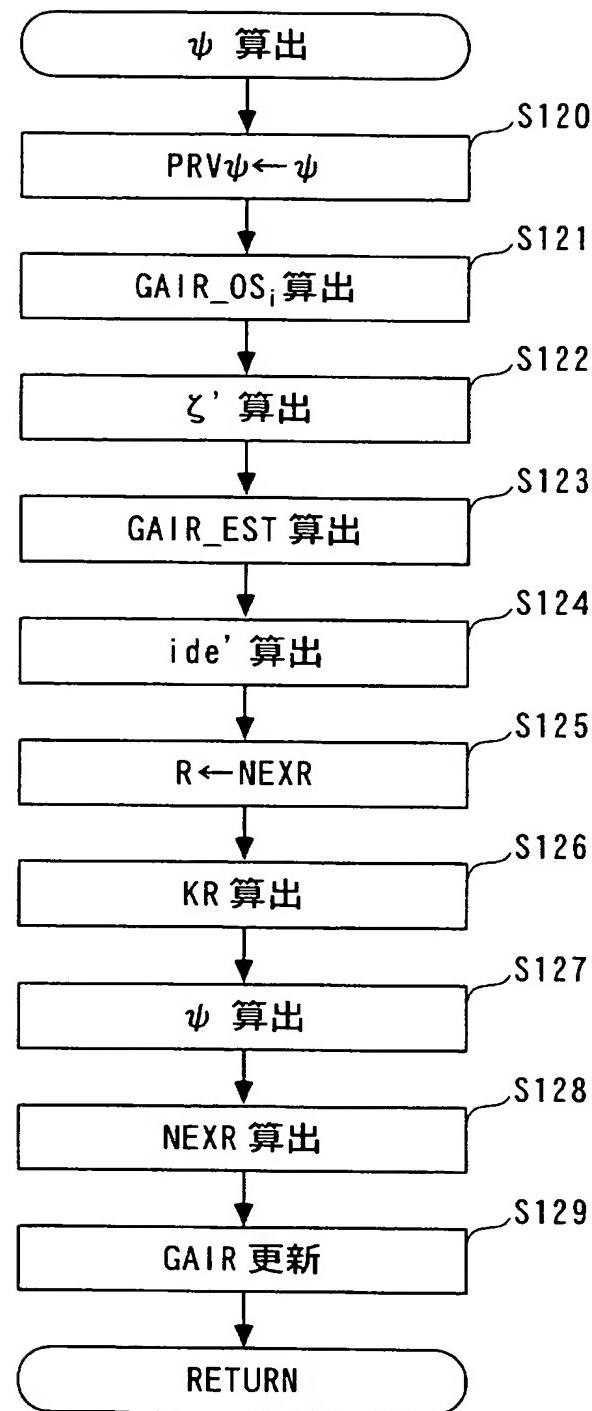
I : 単位行列
 λ_1^*, λ_2^* : 重みパラメータ

$$\begin{aligned} KICYL_LS_i(k) &= \theta I CYL_LS_i(k-1)^T \cdot Z'(k) \\ &= AICYL_LS_i(k-1) \cdot ESV(k) + BICYL_LS_i(k-1) \end{aligned} \quad \dots \dots (78)$$

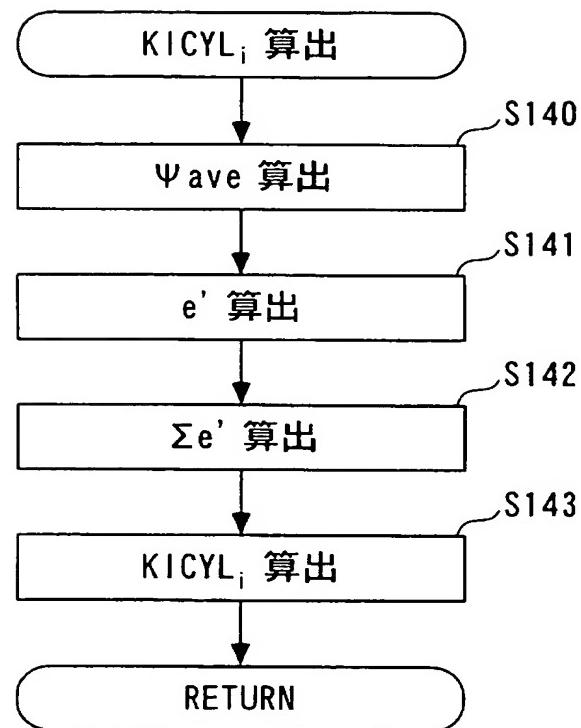
【図33】



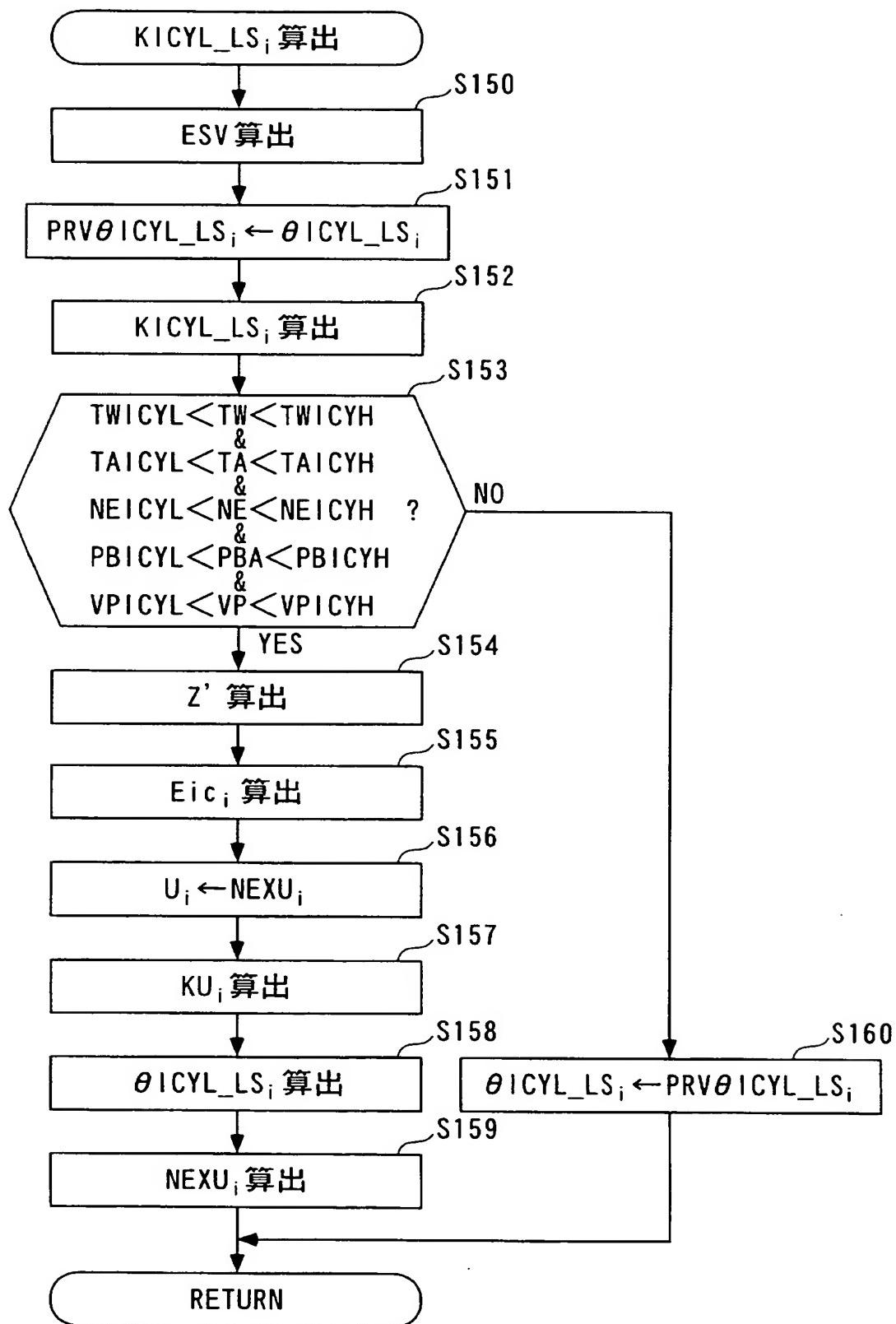
【図34】



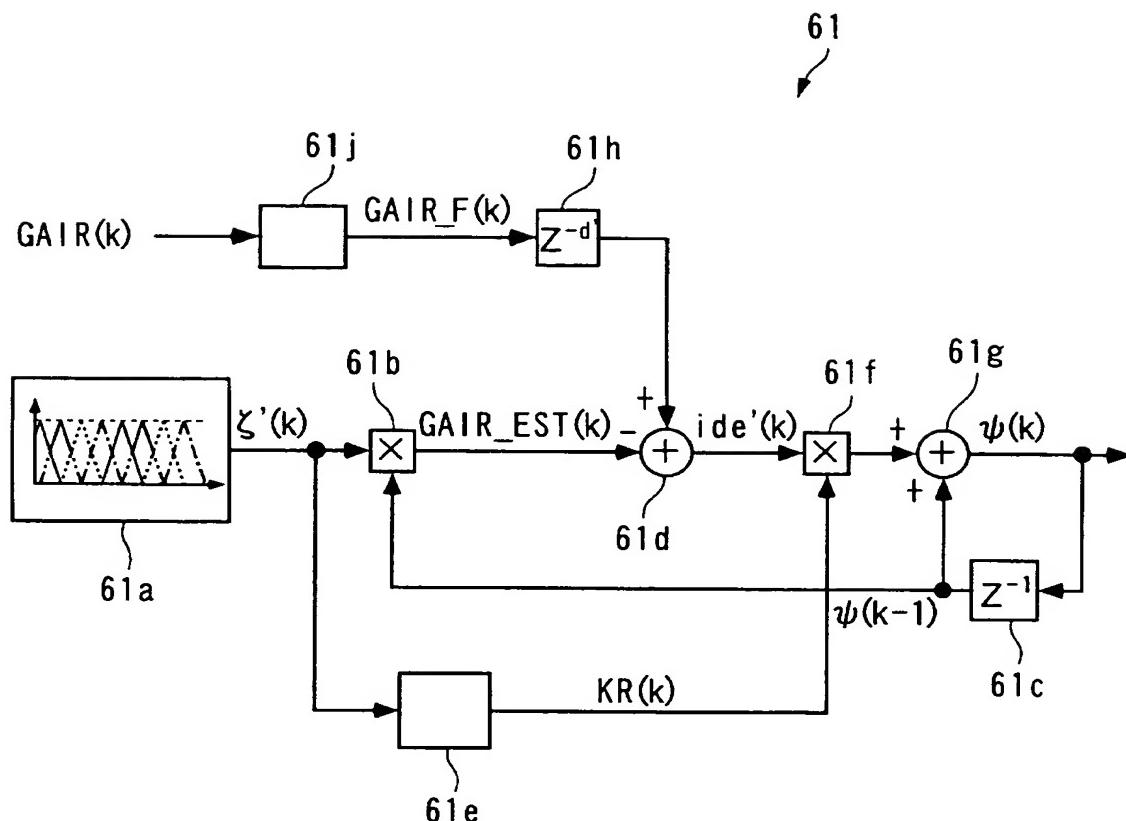
【図35】



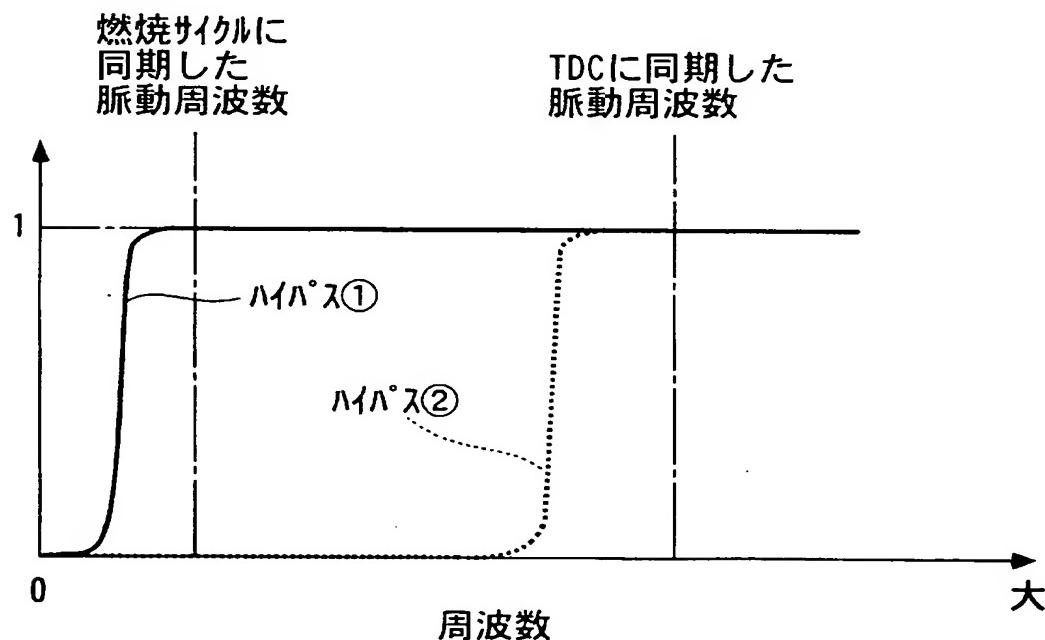
【図36】



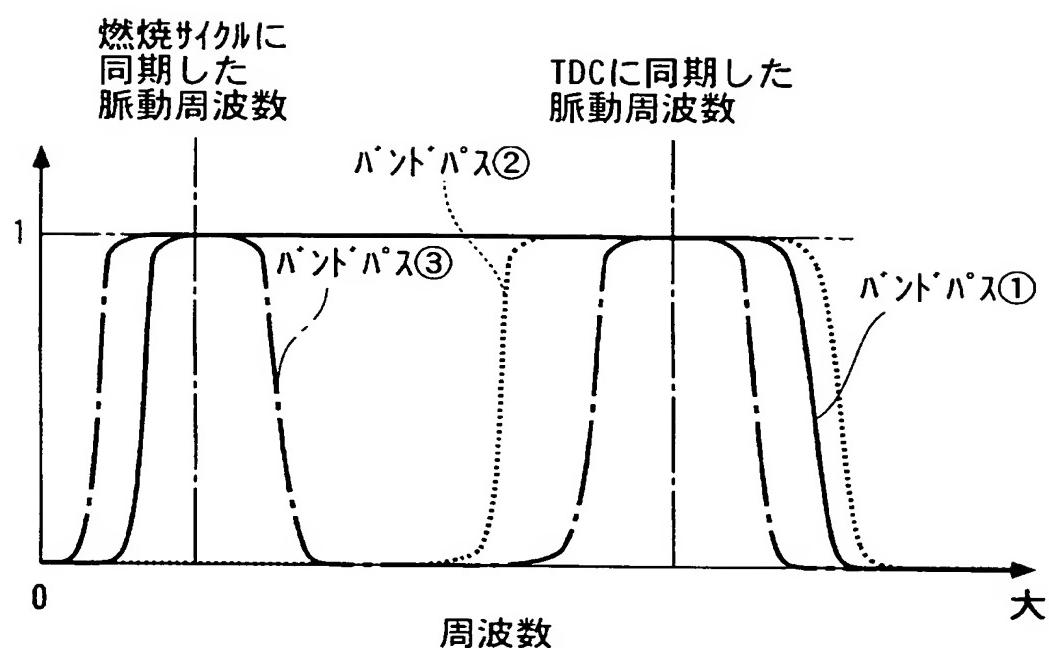
【図 3 7】



【図 3 8】



【図39】



【図 4 0】

$$\begin{aligned}
 \text{GAIR_F}(k) = & b_0 \cdot \text{GAIR}(k) + b_1 \cdot \text{GAIR}(k-1) + \dots + b_{m^*} \cdot \text{GAIR}(k-m^*) \\
 & + a_1 \cdot \text{GAIR_F}(k-1) + a_2 \cdot \text{GAIR_F}(k-2) + \dots + a_{n^*} \cdot \text{GAIR_F}(k-n^*) \\
 & \dots \dots \quad (79)
 \end{aligned}$$

$$\psi(k) = \psi(k-1) + KR(k) \cdot i de'(k) \quad \dots \dots \quad (80)$$

$$\psi(k)^T = [\Psi_1(k), \Psi_2(k), \Psi_3(k), \Psi_4(k)] \quad \dots \dots \quad (81)$$

$$i de'(k) = \text{GAIR_F}(k-d') - \text{GAIR_EST}(k) \quad \dots \dots \quad (82)$$

$$\text{GAIR_EST}(k) = \psi(k-1)^T \cdot \zeta'(k) \quad \dots \dots \quad (83)$$

$$\begin{aligned}
 \zeta'(k)^T = & [\text{GAIR_OS}_1(k), \text{GAIR_OS}_2(k), \text{GAIR_OS}_3(k), \text{GAIR_OS}_4(k)] \\
 & \dots \dots \quad (84)
 \end{aligned}$$

$$KR(k) = \frac{R(k) \cdot \zeta'(k)}{1 + \zeta'(k)^T \cdot R(k) \cdot \zeta'(k)} \quad \dots \dots \quad (85)$$

$$R(k+1) = \frac{1}{\lambda_1''} \cdot \left(I - \frac{\lambda_2'' \cdot R(k) \cdot \zeta'(k) \cdot \zeta'(k)^T}{\lambda_1'' + \lambda_2'' \cdot \zeta'(k)^T \cdot R(k) \cdot \zeta'(k)} \right) \cdot R(k) \quad \dots \dots \quad (86)$$

I : 単位行列
 $\lambda_1'', \lambda_2'':$ 重みパラメータ

【図4-1】

IP-D制御アルゴリズム

$$KICYL_i(k) = -GD' \cdot \sum_{j=0}^k e'(j) - FD' \cdot e'(k) - HD' \cdot [\Psi_i(k) - \Psi_i(k-1)] \quad \dots \dots (87)$$

$$e'(k) = \Psi_i(k) - \Psi ave(k) \quad \dots \dots (88)$$

FD', GD', HD' : フィードバックゲイン

応答指定型制御アルゴリズム

$$KICYL_i(k) = -FS' \cdot \sigma(k) - GS' \cdot \sum_{j=0}^k \sigma'(j) - HS' \cdot e(k) \quad \dots \dots (89)$$

$$e'(k) = \Psi_i(k) - \Psi ave(k) \quad \dots \dots (90)$$

$$\sigma'(k) = e'(k) + S' \cdot e'(k-1) \quad \dots \dots (91)$$

$\sigma'(k)$: 切換関数
 FS', GS', HS' : フィードバックゲイン
 S' : 切換関数設定パラメータ ($-1 < S' < 1$)

【図4.2】

$$\psi(k) = \psi_{\text{base}} + d\psi(k) \quad \dots \dots (9.2)$$

$$\psi_{\text{base}}^T = [\Psi_{\text{base}_1}, \Psi_{\text{base}_2}, \Psi_{\text{base}_3}, \Psi_{\text{base}_4}] \quad \dots \dots (9.3)$$

$$d\psi(k) = \delta' \cdot d\psi(k-1) + KR(k) \cdot ide'(k) \quad \dots \dots (9.4)$$

$$ide'(k) = GAIR(k) - GAIR_EST(k) \quad \dots \dots (9.5)$$

$$GAIR_EST(k) = \psi(k-1)^T \cdot \zeta'(k) \quad \dots \dots (9.6)$$

$$\zeta'(k)^T = [GAIR_OS_1(k-d'), GAIR_OS_2(k-d'), GAIR_OS_3(k-d'), GAIR_OS_4(k-d')] \quad \dots \dots (9.7)$$

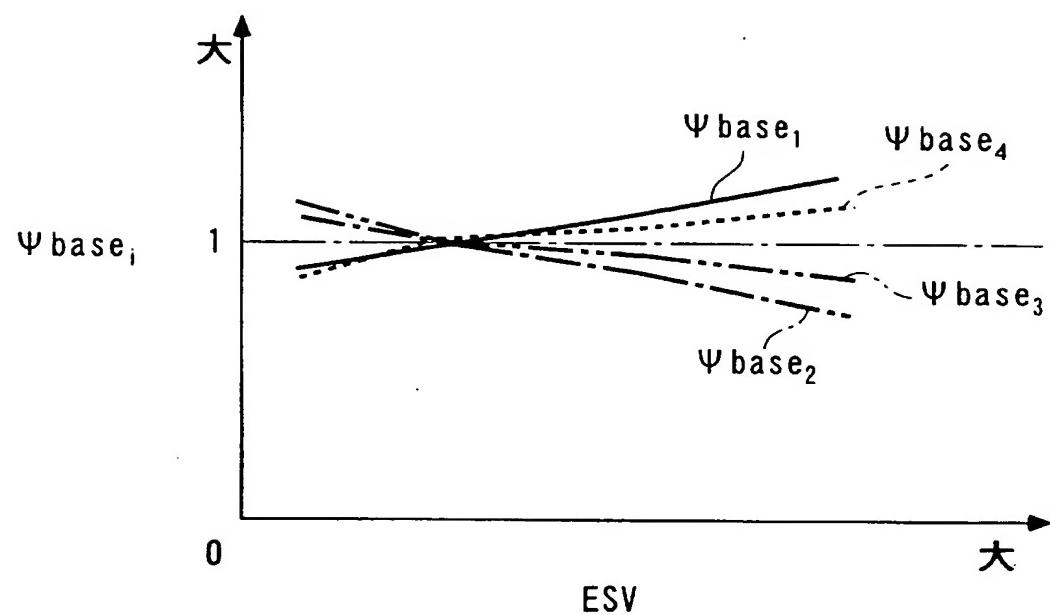
$$KR(k) = \frac{Pc' \cdot \zeta'(k)}{1 + \zeta'(k)^T \cdot Pc' \cdot \zeta'(k)} \quad \dots \dots (9.8)$$

Pc' : 同定ゲイン

$$\delta' = \begin{bmatrix} \delta_1' & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \delta_1' & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \delta_1' & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \delta_1' \end{bmatrix} \quad (0 < \delta_1' \leq 1) \quad \dots \dots (9.9)$$

δ' : 忘却ベクトル

【図4-3】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 安定余裕が大きく、ロバスト性の高い制御を実現できる制御装置を提供する。

【解決手段】 1-4番気筒#1-4から排出される排気ガスの空燃比を制御する制御装置1のECU2は、検出空燃比KACTの推定値KACT_ESTを、これと、空燃比ばらつき係数 Φ_i および複数の模擬値KACT_OS_iとの関係を定義したモデル[式(2)]から推定し、この推定値KACT_ESTが検出空燃比KACTに一致するように、空燃比ばらつき係数 Φ_i を同定し(ステップ8)、同定された空燃比ばらつき係数 Φ_i に応じて、空燃比ばらつき補正係数KOBSV_iを気筒毎に算出し(ステップ9)、空燃比ばらつき補正係数の学習補正值KOBSV_LS_iを気筒毎に算出し(ステップ10)、空燃比ばらつき補正係数KOBSV_iおよび学習補正值KOBSV_LS_iにより基本燃料噴射量TIBSを補正することで、最終燃料噴射量TOUT_iを気筒毎に算出する(ステップ11, 12)。

【選択図】 図2

特願2002-354360

出願人履歴情報

識別番号 [000005326]

1. 変更年月日 1990年 9月 6日

[変更理由] 新規登録

住所 東京都港区南青山二丁目1番1号
氏名 本田技研工業株式会社